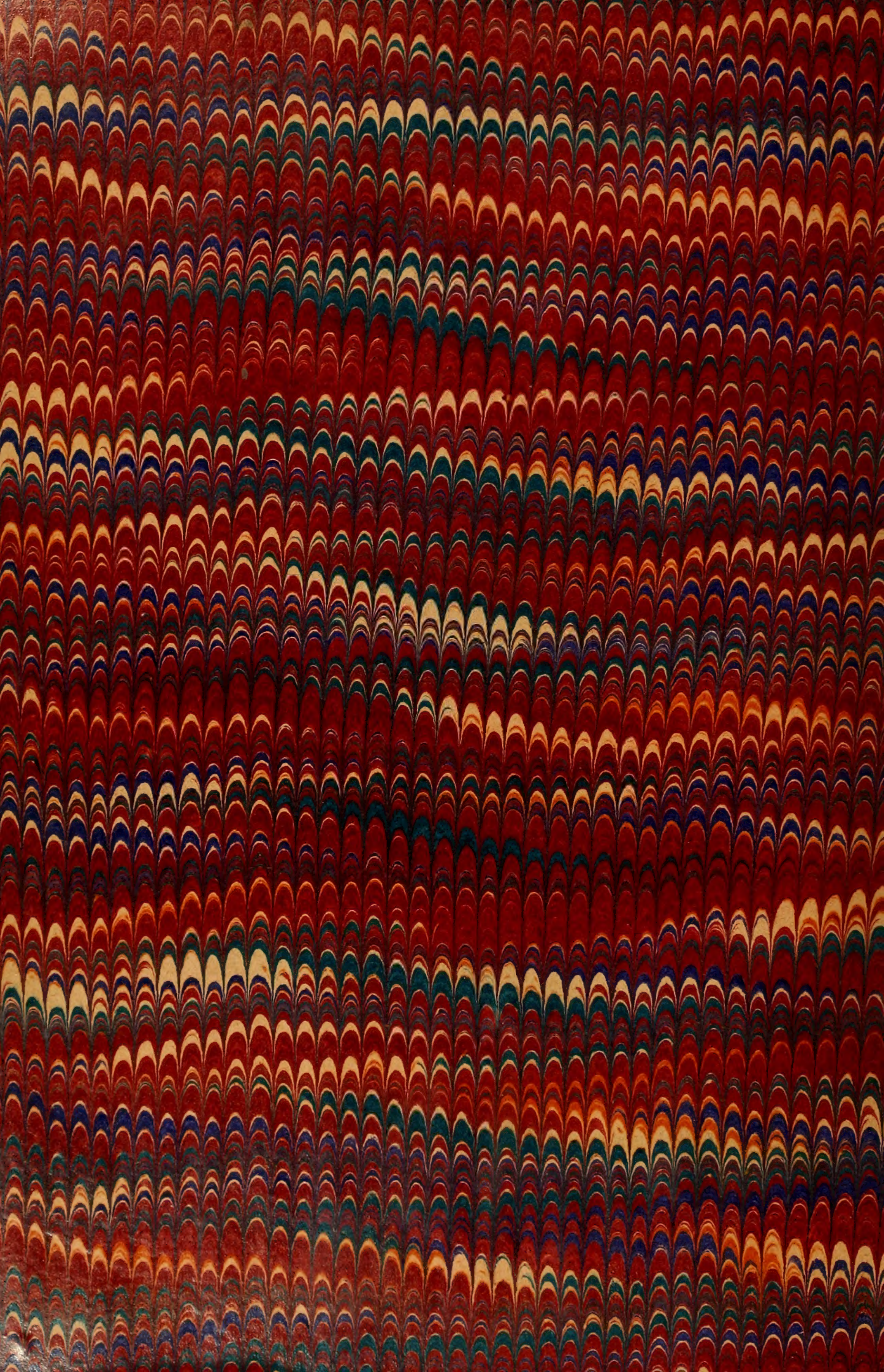
QE
201
M612
NH







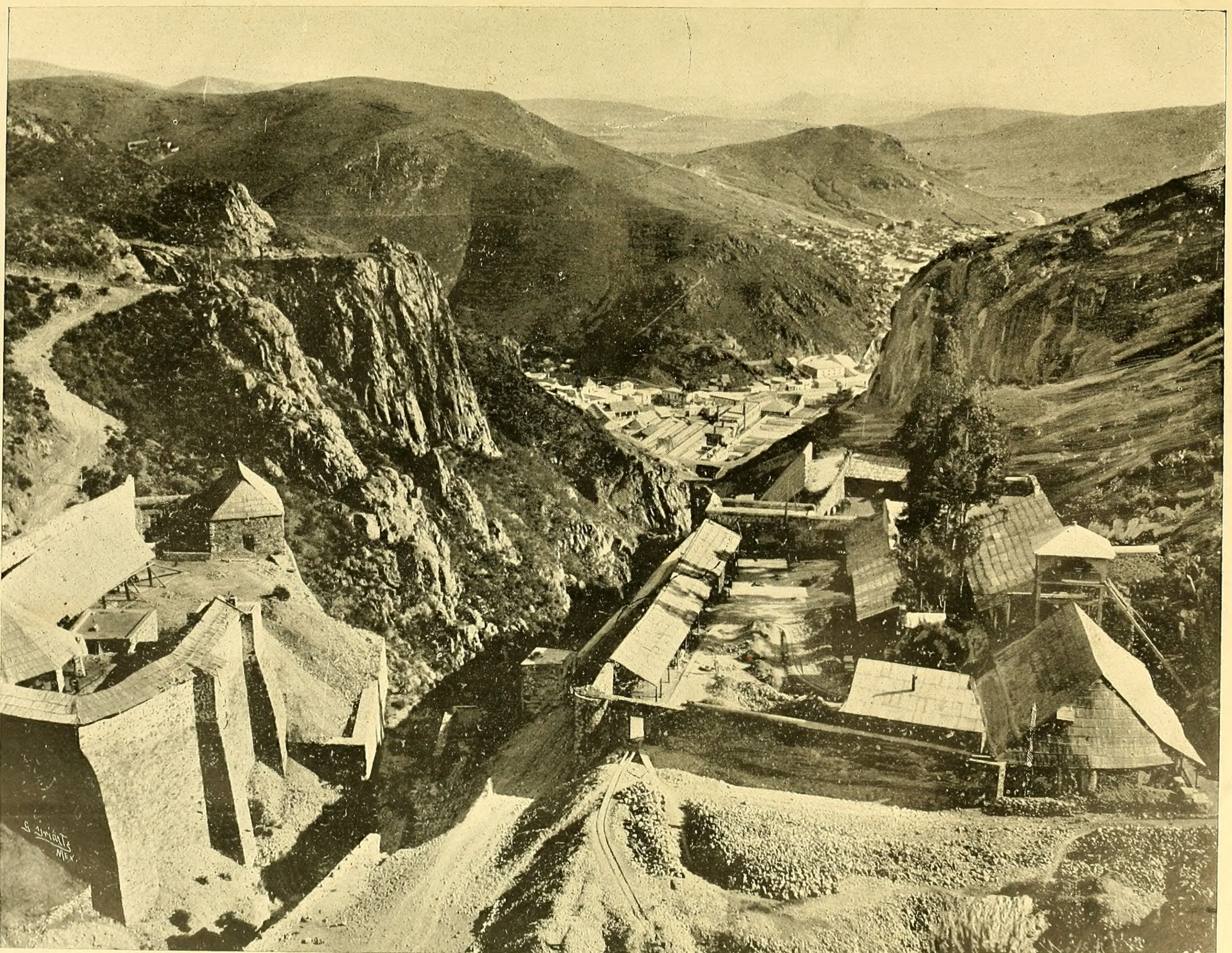


Lámina I. Vista del mineral de Pachuca desde el cerro de Rejona.

NH

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

DIRECTOR, JOSÉ G. AGUILERA.

EL MINERAL DE PACHUCA



159027

MEXICO
OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Calle de San Andrés núm 15 (Avenida Oriente, 51)

1897



PRÓLOGO.

De todos nuestros distritos mineros, Pachuca ha sido en estos últimos años el que ha desempeñado el papel más importante, tanto por su extraordinaria producción de plata, como por la multiplicidad y diversidad de maquinaria empleada para la extracción, preparación y beneficio de los metales. Sin embargo de ser uno de los minerales más antiguamente conocido, pues que fué descubierto á raíz casi de la conquista de México, y desde su descubrimiento por intervalos más ó menos grandes trabajado, con éxito lisonjero en algunos de ellos, no ha venido á adquirir su completo desarrollo sino hasta la época actual, en que la facilidad relativa para alcanzar profundidades considerables en las minas, con alguna economía, y el perfeccionamiento á que se ha llegado en los procedimientos metalúrgicos, han hecho el trabajo de las minas de esta localidad á la vez que más remunerativo, de más larga duración. Esto ha permitido descubrir grandes riquezas que proporcionaron elementos para nuevas investigaciones que á su vez descubrieron las grandes bonanzas que se han extraído desde hace 25 años.

Cuando la actividad de los hombres de empresa y de trabajo se consagra á negocios bastante remunerativos, sucede frecuentemente que se descuida y aun á veces se desprecia toda mira técnica, toda especulación que no se traduce en rendimiento práctico de beneficio directo é inmediato del capital invertido, y así vemos que han transcurrido los años bonancibles del Mineral de Pachuca, sin que ninguno de los numerosos y entendidos ingenieros que han dirigido los trabajos mineros, ni ninguna de las ricas compañías que explotan con más ó menos éxito las minas, se hayan cuidado de emprender ó intentar siquiera la descripción científica y detallada del Mineral desde sus diversos puntos de vista, para dar á conocer al mundo científico las múltiples observaciones y las interesantes especulaciones que del trabajo de las minas

se desprenden, y las cuales habrían contribuído á no dudarlo á facilitar la resolución de los tan arduos como instructivos é interesantes problemas, referentes á los yacimientos metalíferos, que hoy se estudian con tanto afán en el mundo entero.

Desde la creación de la Comisión Geológica de México se tuvo el propósito de emprender el estudio detallado de los principales Distritos Mineros de la República, para dar á conocer en memorias especiales la naturaleza é importancia de sus yacimientos minerales; pero la necesidad de llevar á cabo cuanto antes la terminación de la Carta Geológica general del país, distrajo al reducido personal de la Comisión Geológica de tan interesante clase de estudios. El Instituto Geológico, creado para sustituir á la Comisión Geológica, teniendo que ocuparse en trabajos diversos relativos á ramos diferentes de la Geología, cuyo conocimiento es de utilidad para el país, había retardado la ejecución del programa tan instructivo como interesante y desconocido en la República, hasta que circunstancias imprevistas vinieron á ponernos en condiciones favorables para obtener el conjunto de datos y observaciones que forman el objeto del presente volumen.

A fines del año de 1895 colando los trabajos de una frente al Oriente en el cañón 280 m. en la mina "La Camelia," se encontró de una manera intempestiva una gran cantidad de agua que no tardó en invadir los grandes laboríos de la mina Camelia y á continuación los de las minas San Rafael y Maravillas. Las proporciones de esta inundación fueron tan grandes que no se registra en la historia de la explotación del mineral una venida de agua tan abundante y tan repentina como ésta, y no estando las minas preparadas para el caso de una invasión extraordinaria de agua en sus labrados, los elementos de desagüe disponibles fueron insuficientes para combatir la inundación, alcanzando el agua niveles superiores á los de los cañones que se tenían en explotación en las minas, lo cual ocasionó la paralización completa de los trabajos de las principales minas de la región invadida por las aguas, determinando así una violenta crisis que afectó profundamente los intereses mineros, industriales y comerciales del Estado de Hidalgo.

Esta circunstancia hizo que el Gobierno General dictase algunas medidas encaminadas á combatir el mal, nombrando á un Inspector de minas para que lo pusiese al corriente de los hechos, dándole á conocer el verdadero estado de las cosas, á la vez que comisionaba al Instituto Geológico para que estudiando la procedencia de las aguas que habían producido la inundación de las minas, se ocupara de hacer un estudio especial del Mineral de Pachuca.

Una vez hechos los reconocimientos preliminares sobre el terreno que abraza la zona de inundación, se procedió por el personal del Instituto á la ejecución de todos los trabajos indispensables, tanto en la superficie del terreno como en los labrados profundos de las minas, para la resolución del problema relativo al origen de las aguas, haciéndose el levantamiento del plano de la zona inundada, el estudio geológico de la sierra de Pachuca, formándose las

colecciones de rocas para su estudio al microscopio. Siguió después el estudio de los labrados de casi todas las minas en explotación en Pachuca, el del relleno de las vetas y sus relaciones con las rocas que les sirven de caja, la distribución de los minerales en las vetas desde la superficie hasta los planes actuales, la repartición de la riqueza en las vetas y el levantamiento topográfico de los crestones de todas la vetas para venir en conocimiento de sus relaciones mutuas y de la naturaleza del sistema de fracturas y de su origen.

Hacemos aquí público nuestro agradecimiento á los Directores, Ingenieros y Capitanes de las importantes negociaciones mineras de Real del Monte y Pachuca, Maravillas, San Rafael, El Encino y Andrés Tello, por su poderosa ayuda para llevar á cabo nuestros trabajos, proporcionándonos los planos de sus propiedades, medios para transitar en las minas, libre uso de sus gabinetes de dibujo y en general todo cuanto dato nos fué necesario para la preparación de esta Memoria. Es de nuestro deber hacer á este respecto mención muy especial de la eficaz cooperación de los Sres. ingenieros Edmundo Girault y José C. Haro.

José G. Aguilera.

I

RESEÑA HISTÓRICA.

RESEÑA HISTORICA.

El Estado de Hidalgo formó con el de Morelos hasta 1868 parte del extenso Estado de México, siendo constituído en esta fecha en Entidad federativa.

Está comprendido entre los 19° 37′ y 21° 15′ latitud N., y entre los 1° 10′ 30″ E. y 0° 46′ 45″ W. del meridiano de México. Tiene por límites: al N. San Luis Potosí; al N. E. Veracruz; al E. Puebla; al S. Tlaxcala y México, y al W. Querétaro; comprendiendo una extensión superficial de 21,000 kilómetros cuadrados.

Lo que sin duda alguna ha dado más importancia á este Estado, son sus ricas minas labradas en campos de fractura bien definidos, situados los principales en las faldas N. E. y S. W. de la Sierra de Real del Monte y Pachuca, constituyendo un yacimiento típico muy semejante al de Schemnitz en Hungría y al de Comstock en Nevada, E. U. A.

Estos yacimientos son esencialmente argentíferos y se explotan en Pachuca, Real del Monte, El Chico, etc., habiendo dado pingües utilidades á las compañías poseedoras de estas minas.

Si es cierto que los yacimientos argentíferos son los de más valía y los que más principalmente han fijado la atención de los industriales, no son los únicos; y aunque no en tan gran escala, se explotan la cal en Tula, el fierro en Apulco, Zacualtipán y Zimapán, y en Zacualtipán existe un magnífico kaolín, producto de alteración de las rhyolitas, cuya explotación es aún rudimentaria.

Con sobrada razón, la Comisión de 1865 al hablar de Pachuca dice: "La historia de Pachuca, en cuanto á su progreso, es la de sus minas; así es, que cuando éstas han estado en bonanza ó abandonadas, Pachuca ha florecido ó estado en decadencia." Y en efecto, su vida, su importancia en el mundo metalúrgico, han sido sólo debidas á sus grandes riquezas, á la perspectiva halagadora que presentaba, y que han hecho al capitalista arriesgar sus ri-

quezas en busca de bonanzas que ampliamente compensasen sus fatigas, devolviendo centuplicados los capitales en tan ardua empresa aventurados.

De importancia suma sería escribir la historia detallada de sus minas; señalar sus épocas de bonanza, sus épocas de ruina; poner ante la vista las dificultades que el minero ha tenido que vencer; cómo, á fuerza de habilidad, ha podido dominarlas; señalar, si posible fuera, con gruesos caracteres sus yerros, sus torpezas, que servirían de gran enseñanza á nuestros futuros mineros, indicándoles el verdadero camino, conquistado á fuerza de penalidades y desengaños, para que llegaran con paso firme al logro de sus ilusiones, á la realización de sus esperanzas.

Desgraciadamente esto no es posible; sólo de unos cuantos años á esta parte se poseen datos seguros. Durante la guerra de Independencia y en nuestras lamentables contiendas políticas, los archivos fueron destruídos; y, fuerza es decirlo, los que se han ocupado de la historia de Pachuca no hacen sino tomar del primero que escribió, prueba inconcusa de la carencia absoluta de datos.

En la Crónica de la Santa Provincia de San Diego de México, de Religiosos Descalzos de N. S. P. San Francisco (Baltazar de Medina, año de 1862) se lee:

"El origen y población de este paraje (habla de Pachuca) según tradición, fué por haber descubierto un pastor una mina, cuya riqueza tiró los ánimos de muchos, que arrastrados de la codicia del oro, poblaron aquel sitio, formando casas pajizas, chozas, y viviendas con orden y disposición de pueblo. Hallándose crecido, y con bastante número de gentes, pidieron al Virrey de Nueva España, Ministro que les diese el pasto de los Sacramentos y Alcalde Mayor que los gobernase en lo Político, de la suerte que hoy persevera con una Parroquia, título de la Asunción de N. Señora, con dos curas beneficiados Clérigos, un Alcalde mayor que nombra el Virrey de Nueva España, Alguacil Mayor y Escribano Público. Pocos años ha, se puso Tesorero, Contador y Caja Real donde acuden los Reales de Minas de la Comarca, el Real del Monte, Atotonilco y Capula, por lo que toca á los Reales quintos de Su Majestad."

Respecto á la etimología de la palabra Pachuca dice el mismo autor citado: "El nombre Pachuca parece que es del nombre de *Pachoa*, mexicano, que significa apretura ó estrechez, porque á la entrada del pueblo yendo de México hay dos cerros que forman como una cañada angosta que llaman vulgarmente el Portezuelo. Otros dicen que Pachuca es del nombre *Pachocan* que significa lugar de Gobierno ó Regimiento, aunque con algún barbarismo en el idioma mexicano, porque propiamente había de decir *Tepachocan*, de suerte que sin el *Te*, significa *Pachocan*, como hemos dicho, lugar de aprensar ó apretura. Desde su antigüedad llamaron los indios á Pachuca *Tlahuelilpan*, que significa lugar de riego, porque según la tradición, el río que viene de la Motolínica, por el medio del Real, era en todos tiempos caudaloso, y al salir del lugar regaba los llanos que llaman de Coscotitlán hasta cerca

del cerro de Cadena; porque estos campos se sembraban de trigo, maíz, legumbres, árboles frutales, flores y hortalizas. Después por las acendradas de los mineros, lavatorios y beneficios de metales se sangra el río por tan diversas partes, que queda su cause casi sin gota de agua hasta el tiempo de lluvias, por cuya causa faltando los riegos se dejaron las labranzas.''

Varias excavaciones antiguas han hecho creer á la generalidad que las minas de Pachuca fueron trabajadas por los aztecas, y como no se han encontrado señales de instrumentos de fierro, es probable que se valieran para el ataque del fuego y de utensilios de piedra.

Entre los escritores más autorizados, el Barón Alejandro de Humboldt asienta que Pachuca dependía de Pachuquilla, pueblo situado á 2 leguas al S. E. de Pachuca, siendo éste el primer pueblo cristiano que fundaron los españoles en la Intendencia de México.

El descubrimiento de Bartolomé de Medina en 1557, dá una prueba inconcusa de la antigüedad de este Mineral; siendo muy probable que los españoles poco después de la conquista (1521) trabajaran estas minas, pues sólo media el insignificante período de 36 años entre el notable invento de Medina y la toma definitiva del territorio mexicano por las armas españolas.

Siendo propios los metales para este beneficio, el éxito en las primeras pruebas hizo que se extendiera rápidamente este tratamiento, y bien pronto compitió con la Europa, extrayendo más plata que la que ella podía producir.

Desde 1557 hasta fines del siglo XVIII se trabajaron con éxito las minas de Pachuca, habiendo sólo ligeras interrupciones debidas á la escaséz del azogue, cuya venta había monopolizado la Corona de España.

El Excmo. Sr. D. Sebastián de Toledo, Marqués de Mancera, mandó fundar las Cajas Reales en 1670. En este establecimiento se vendía á los mineros á $32 quintal de azogue con un plazo de seis meses, teniendo además un fondo para rescatar las platas. En la misma época se fundó el ensaye que se incorporó á la Corona en 1773.

Una de las minas más célebres de aquella época fué la del Xacal; producía $7,000 diarios, por cuya razón se decía que cada día daba una barra de plata de quintos al Rey. D. Juan Burkart, en su Memoria sobre las minas de Pachuca y Real del Monte, cita el siguiente aserto de Gamboa: "La mina de la Trinidad, compuesta de las pertenencias de la Campechana, la Joya y el Peñol, dió en el espacio de diez años, con un pueble de 1,000 hombres, cuarenta millones de pesos.''

Según el Barón de Humboldt, el abandono de las minas fué debido al terror que difundió entre los mineros el horroroso incendio de la mina del Encino; el fuego destruyó todos los ademes y asfixió la mayor parte del pueble. La Comisión de 1865 dice: "No fué este suceso la causa principal del desaliento de los mineros, sino que en aquella época, no conociendo las máquinas de vapor, no tenían medios poderosos para el desagüe, porque aunque la mina explotada fuese rica, luego que el trabajo llegaba á cierta profundidad,

tenían que multiplicar los malacates. De aquí es que los trabajos eran casi siempre de corta duración y hechos á corta profundidad."

"No obstante el grave inconveniente del agua, algunos mineros continuaron explotando varias minas con más ó menos éxito, hasta principios del siglo."

La mayor parte de los mineros siendo españoles, la guerra de Independencia en 1810 los obligó á abandonar las minas. En 1812 los insurgentes saquearon á Pachuca llevándose de las Reales Cajas $269,141. De esta época data el extravío del Archivo, hecho más lamentable sin duda que el saqueo de las Reales Cajas.

Terminada la guerra de Independencia, reconocido el Gobierno mexicano por Inglaterra, y no queriendo los vecinos acomodados de la población arriesgar sus capitales en empresas mineras, el tercer Conde de Regla y el distinguido minero inglés Mr. Jhm Taylor formaron en Londres una Compañía para trabajar las minas de Real del Monte, obligándose la Empresa á suministrar todo el capital necesario para poner en actividad las minas y á pagar al Conde la suma anual de $16,000 mientras las minas no produjesen utilidades, dividiéndolas con él por partes iguales cuando las hubiese.

La Compañía inglesa tomó posesión de las minas en 1824, debiendo ésta durar 28 años según una cláusula del contrato primitivo, la que después fué modificada en el sentido de que la posesión fuera para siempre.

Muchos fueron los contratiempos que sufrió la Compañía y que produjeron su ruina: la maquinaria encargada á Inglaterra para el desagüe de las minas, no se pudo desembarcar en Veracruz por estar San Juan de Ulúa todavía en poder de los españoles, y tuvo que hacerse en Mayo de 1825 en la playa de Mocambo, donde las fuertes lluvias y el mal clima retardaron é hicieron muy costoso el transporte; se compraron muchas minas en pésimas condiciones; se hicieron prematuramente muchos edificios costosos; se hacía la explotación en límites estrechos; no se aprovechaban debidamente los frutos pobres y abundantes que se encontraban, deseando siempre alcanzar frutos ricos que descubiertos no cubrían los gastos erogados por ellos. En 1843 se emprendieron varios trabajos en las minas de Pachuca que luego se abandonaron; se trajeron muchos empleados con elevados sueldos sin ser aptos para cumplir debidamente sus tareas, y finalmente, el arreglo económico de la Empresa en sus diversos ramos, era muy imperfecto, resultando que, después de haber invertido un capital que de $2.000,000 se había aumentado hasta $6.181,710, se disolvió la Compañía en Londres en 1848, teniendo una deuda de $5.000,000.

Disuelta la compañía inglesa, Mr. John Buchan vino á México para entrar en arreglos con varios capitalistas mexicanos y se formó una compañía en la que los Sres. D. Manuel Escandón y Don Nicanor Béistegui entraron con un capital de $528,484, quedando la nueva compañía en posesión de lo que había pertenecido á la anterior en 1849, haciéndose responsable de las deudas que ésta había contraído.

Inmediatamente se procedió á trabajar la mina del Rosario, colándose el socavón con el fin de alcanzar el punto de intercepción de las dos vetas que en sus pertenencias se cruzan; á los 12 metros se llegó á este punto encontrándola en frutos muy ricos y obteniendo en 12 años 3.169,128 quintales de mineral con una ley media de 14 marcos por montón.

La longitud del clavo era de 200 metros, y como su riqueza aumentaba con la profundidad, para poder continuar su disfrute fué preciso efectuar el desagüe. Como era de creerse que la famosa mina del Xacal, desde mucho tiempo antes abandonada, sería directamente beneficiada por el desagüe del Rosario, fué tomada en avío por la Compañía, que además aseguró la propiedad de una cuadra de 1,600 metros al E. y 1,600 al W. del tiro del Rosario, é hizo un contrato con algunos dueños de minas, estipulando que de los frutos extraídos de aguas abajo se daría á la compañía la décima parte como remuneración por el desagüe.

Presentando el tiro de S. Nicolás mayores ventajas que el del Rosario, se instaló en él una máquina de balanzón de 30 pulgadas de diámetro del sistema Cornwall y Devon, de media presión y de 52 caballos de potencia, que se inauguró en Marzo de 1853, logrando arrastrar el agua en el tiro de San Nicolás á 104 varas y desaguar completamente la mina del Rosario para Noviembre del mismo año, permitiendo llevar en ésta los trabajos hasta 200 varas de profundidad. Las labores que alcanzaron este nivel, no podían ser desaguadas por la bomba de San Nicolás y entonces se procedió á la instalación de otra máquina que empezó á andar á mediados de 1863 y que desaguaba directamente el Rosario por el tiro viejo, hoy llamado "Del Agua."

En cuanto á la mina del Xacal, que tan brillantes resultados había dado antes de su abandono, volvió á ser trabajada en 1853 y durante los primeros años sus productos no correspondieron á lo que de ella se esperaba á causa de que estaban arruinadas sus antiguas labores. Su extracción empezó á ser de importancia desde 1855, en que dió 80.000 quintales de mineral y fué aumentando año por año alcanzando en 1863 la cantidadde 100.800 quintales; á pesar de esta abundante producción la deuda de la mina, que en 1857 era de $95,208 iba aumentando y los $470,490 que anualmente producía quedaban invertidos en ella.

De esta época en adelante Pachuca ha ido siempre en aumento; el minero ha visto cumplidas sus aspiraciones, realizando pingües ganancias que la explotación de sus minas le ha proporcionado; la población ha crecido en proporción prodigiosa, pues de 7,000 habitantes que tenía el año de 1755 ha llegado á ser superior á 39,000 el año de 1895.

La ciudad se ha hermoseado con edificios costosos y de buen gusto, la educación se ha difundido en todas las masas sociales, por la creación de suficiente número de escuelas perfectamente atendidas, siendo esta, sin duda, la mejor prueba de su marcha decisiva por los senderos del progreso; y por último, la aplicación de la electricidad á sus minas y haciendas de beneficio habla muy alto en favor de la ilustración y competencia de los ingenieros, sali-

dos en su mayor parte de la Escuela de Minería, hoy Escuela Nacional de Ingenieros.

Sus principales haciendas de beneficio son: Loreto y la Purísima Grande, las más antiguas, en esta habiendo hecho Bartolomé de Medina sus primeros ensayos sobre el beneficio de patio que ha inmortalizado su nombre; la Purísima Chica de la compañía Andrés Tello, Guadalupe (fundada por el Ingeniero Guillermo Segura; la más moderna, La Luz, del Sr. Francisco Rule; en todas estas se sigue exclusivamente el procedimiento de patio. La hacienda Bartolomé de Medina fundada por los Ingenieros Zozaya y Blázquez en 1892; los métodos aquí seguidos son el de panes continuos patente Boss, y el de toneles. Este último es una patente de nuestro inolvidable maestro el distinguido ingeniero D. José M. César, director fundador de la Escuela Práctica de Minas en Pachuca. La Unión, donde se sigue el procedimiento de Kröncke; Progreso y San Francisco, siguiéndose en ambas en grande el sistema de panes continuos patente Boss.

Existen otras haciendas de importancia muy secundaria. Mencionaremos en primer lugar San Francisco (El Cuervito) donde Mr. Martin P. Boss presentó por primera vez su patente de beneficio; El Refugio, fundada por el actual presidente de la negociación de San Rafael Sr. Felipe N. Barros, donde: después de recogida la mayor parte de la ley del metal por medio de concentradoras Frue vanner se benefician por patio las lamas ya así empobrecidas, y además San Julio, la Constancia y otras.

Las compañías mineras más reputadas son: La Compañía de Real del Monte y Pachuca, que aunque principiando bajo tan malos auspicios como anteriormente lo hicimos constar, es ahora la de mayor importancia por ser la poseedora del mayor número de minas y por la inteligente dirección que á sus negocios ha sabido darle. La compañía de San Rafael y Anexas, que debe su nombre á su principal mina, una de las más ricas de la República.

Esta compañía se organizó formalmente el 31 de Agosto de 1874, empezando sus trabajos con el exigüo fondo de $60,000. Bien pronto tan escaso capital quedó agotado, así como los fondos que uno de los principales socios fundadores, Lic. José María Barros, por autorización de la Junta Directiva pudo arbitrarse. El resultado fatal de la explotación desmoralizó por completo á los accionistas, y la negociación fué salvada, por la perseverancia tan rara como digna de elogio del Sr. Barros, pues es públicamante conocido que para evitar el fracaso del negocio perjudicó todos sus intereses. Caracteriza el Sr. Barros la figura típica del minero acometido por la fiebre de las minas, fé suprema, constancia heroica y energía llevada hasta el sacrificio.

Sus sacrificios fueron coronados por el exito más completo, las utilidades fueron aumentando gradualmente y sin interrupción, llegando á repartirse la cantidad de $7,000 por barra aviadora en el mes de Enero de 1895. Las minas que constituyen esta negociación han dado hasta el 31 de Diciembre de 1896, 319,608 toneladas de mineral con un producto bruto de $12.381,545, habiéndose repartido á los accionistas (durante los últimos ocho años hasta Enero de 1896) $5.709,579.

La compañía de Maravillas y Anexas, que debe su nombre á la mina de "Las Maravillas ó Encarnación", denunciada el 10 de Noviembre de 1849 por los Sres. Adolfo y Agustín Meinecke, habiendo recibido la posesión de ella el 28 de Noviembre de 1850. En 25 de Abril de 1854, los Sres. Meinecke firmaron en México un contrato de avío con doce barras aviadas de la expresada mina, siendo los aviadores los siguientes: Don José Pablo Martínez del Río, Don José Frauenfeld y Bringas, Don José D. Cabrera, Don Samuel M. Marsh, Don F. Coquilet, Don Bonifacio de Tosta, y Don John A. Gadsden.

Posteriormente en 9 de Marzo de 1855, Don Carlos Rule denunció la mina de San Eugenio situada al Sur de Maravillas. En 22 de Diciembre de 1857 quedó constituída la compañía actual por los siguientes accionistas: Juan B. Jecker y Compañía, Juan Potts, Rafael Beraza, Juan F. Weiss, Ignacio Amor y Enrique Gibbon. Del año de 1870 á la fecha se han ido agrandando los fundos mineros, pero el mayor aumento que ha tenido la negociación, fué de las cuatro minas El Carmen, La Luz, Iturbide y Zaragoza, cuya propiedad se tuvo que sostener en un pleito dilatado y ruidoso por los años de 1885 á 1888. Actualmente los fundos de la Compañía abarcan una superficie de 1.548,182 metros cuadrados.

La Compañía de Santa Gertrudis y Anexas, que debe su nombre á la mina de Sta. Gertrudis, la que por estar abandonada fué denunciada el 19 de Septiembre de 1874 por los barreteros José María Manzano, Miguel Trejo, Mariano Islas y Luz Ríos. En el pedimento de posesión alegaban los interesados "que existiendo en buen estado las mojoneras que señalan las medidas de cuatro pertenencias dadas en el año de 1872 por el Perito Don Francisco Morales (después Ensayador Mayor de la República), se tuvieran por buenas en obvio de gastos que no podían sufragar." Sin embargo, la Diputación de Minería nombró como perito práctico para hacer la rectificación de medidas á Don Guillermo Stoneman. El Sr. José María Islas primer Diputado, dió la posesión en 27 de Noviembre de 1874. Los interesados manifestaron en el acto de la posesión, que en esa mina correspondía: un cuarto de barra aviada á Doña Francisca Flores, quedando el resto dividido por partes iguales á favor de los cuatro que habían tomado la posesión y de los C.C. Antonio Paz, Angel Islas y Jesús María Revilla.

Los primeros trabajos de la mina se emprendieron en el tiro de Sta. Gertrudis. Los Sres. Guillermo Stoneman y Cristóbal Ludlow se hicieron de una gran parte de la representación, y ellos fueron los que encontraron los primeros frutos al nivel del primer cañón. Antes de esto, los primitivos dueños ofrecieron en avío la mina á la Compañía de Real del Monte, pero ésta, en vista del informe de su perito, que lo era el Ingeniero Don Guillermo Segura y Pesado, resolvió no tomarla y entonces fué cuando entraron Stoneman y Ludlow.

Tan pronto como se encontraron los primeros frutos, por los años de 76 á 77, comenzaron á repartirse las acciones, habiendo tomado la Colonia Inglesa una buena cantidad.

En el contrato de avío de esa mina entró también la de Potosí, al W. de Sta. Gertrudis; y posteriormente se agregaron las de Amistad y Concordia, por indicación del Sr. Don Francisco Rule, perteneciendo esas nuevas minas al Sr. Don Jesús María Revilla.

Desde que comenzó la bonanza de Sta. Gertrudis, numerosos denuncios cubrieron aquel terreno hasta entonces libre y, como sucede en esos casos, todos decían tener la prolongación de la veta. Entre esos denuncios el de Bartolomé de Medina, al W. de Sta. Gertrudis, dió lugar á un litigio entre la compañía de esta mina y la de Real del Monte, habiéndose fallado por los años de 1879 á 80 á favor de la de Real del Monte, que se quedó con el fundo mencionado.

En Abril de 1881, el Ingeniero Don José Maria César hizo el reparto de demasías entre las minas de la negociación de Sta. Gertrudis y las colindantes. Muy posteriormente se han agregado las minas de la Alianza, El Arca y El Refugio, de manera que hoy forma un grupo compacto y perfectamente resguardado hacia el echado de la veta.

La Junta Directiva de la negociación de Sta. Gertrudis ha tenido siempre su radicación en Pachuca, y las minas están administradas desde el año de 1883 por el Sr. D. Francisco Rule.

Como las acciones de la negociación llegaron á valer más de $2,000, y como ese precio era demasiado alto para la facilidad en las transacciones, en una Junta General de accionistas verificada en 1893 se resolvió subdividir dichas acciones. Las primitivas eran octogésimos de barra, éstas se dividieron en vigésimos, de manera que hoy están divididas las barras en 1,600 acciones.

El laborío de Sta. Gertrudis atraviesa toda la cuadra, que tiene 800 metros de largo, y se prolonga al W. en el Potosí y al E. en la mina de Barron de la Compañía de Real del Monte. Los labrados actuales, que son ya profundos, están en la cuadra de Amistad. El último tiro colado, que es el de San Francisco, acaba de comunicarse á los 300 metros con el undécimo cañón.

La mina de Sta. Gertrudis ha sido trabajada á todo costo, obteniendo magníficos resultados.

Hubiéramos deseado dar la cantidad de metal extraído, costo de extracción, gastos, ganancias, etc.; pero no habiendo podido conseguir estos datos y deseando dar una idea de su producción, ponemos á continuación la liquidación del segundo trimestre de 1893 al primer trimestre de 1894, que es la única que conocemos:

Número de cargas de mineral extraído, 167,186.

Gastos totales incluyendo lo pagado á los aviados, $1.450,887.77.

Total de productos, $1.949,181.43 cs.

Existen otras Compañías, pero de menor importancia; entre ellas mencionaremos la de San Cayetano el Bordo, Andrés Tello, Francisco Rule y socios, La Blanca y otras.

El estado floreciente de Pachuca vino á ser bruscamente destruído por la

inundación de sus principales minas. La inundación comenzó en Diciembre de 1895 en la mina de La Camelia, situada en la veta Vizcaina, invadiendo inmediatamente la mina de San Rafael, situada en la misma veta, y con la que está directamente comunicada.

La Camelia hacía su desagüe en el momento de la inundación con cubas de un metro cúbico de capacidad, San Rafael acababa de instalar en Junio del mismo año un sistema de bombas de generador exterior y motor interior, pero los tubos de desagüe eran de pequeño diámetro, y sólo la bomba de Maravillas podía funcionar con actividad. El movimiento ascendente del agua fué tan rápido, que bien pronto quedaron ahogados dos tramos del bomberío de San Rafael, Camelia suspende el desagüe y la bomba de Maravillas se encuentra impotente para contrarrestar la inundación.

Debemos advertir que la maquinaria de desagüe de San Juan, establecida en Agosto de 1859, había hecho con regularidad durante muchos años el desagüe de las minas, podemos decir, dependientes de la veta de Los Analcos; mas, habiéndose negado las Compañías á pagar la parte que en el desagüe les correspondía, la Compañía de Real del Monte y Pachuca suspendió su desagüe, y cuando se verificó la inundación hacía como dos años que la bomba de la mina San Juan no funcionaba. El movimiento del agua apenas si era sensible, habiendo alcanzado ya el agua su nivel hidrostático; pero pocos meses después de la inundación el movimiento ascendente se acentuó de una manera muy marcada.

Se entra en discusión sobre la influencia que el desagüe de San Juan tendrá sobre las minas de la región inundada, el Ministerio de Fomento media en la cuestión, se decide hacer una prueba, y la máquina de San Juan funciona con el máximum de su potencia, así como la del Zotol. Camelia no continúa el desagüe y San Rafael no puede hacer funcionar sus bombas colgantes por derrumbes que comprometían la seguridad de su tiro. Entretanto, la extracción había disminuído considerablemente, las haciendas de beneficio, faltas de metales, se paralizan y una gran parte de la población se ve obligada á emigrar.

Se proponen varios proyectos para el desagüe: el Sr. ingeniero Luis Carrión, profesor de Explotación en la Escuela Práctica de Minas, propone se prolongue el crucero del Jacal, haciendo de esta manera el desagüe más económico para las otras minas; pero el proyecto no podía llevarse á efecto hasta que el agua hubiera abandonado el cañón de San Francisco de la mina de San Juan, á nivel del cual parte el crucero. El Sr. ingeniero Edmundo Girault, actual administrador de las minas de la Compañía del Real del Monte y Pachuca, situadas en el Distrito de Pachuca, propone un socavón que parta de la hacienda de Loreto, teniendo la ventaja de colarse á varios cabos, y economizando también el desagüe de las minas inundadas yendo á encontrar sus labrados en sus cañones profundos. Este proyecto no se formalizó; las Compañías discutieron mucho sin llegar á un arreglo definitivo.

Para finalizar diremos que: la Compañía del Real del Monte y Pachuca

continúa el desagüe con su bomba de San Juan, en virtud de previo arreglo con las Compañías de San Rafael, Andrés Tello y Guadalupe del Fresnillo, haciendo notar inmediatamente su influencia; la Compañía de Maravillas instala una bomba en el tiro del Carmen y continúa moviendo la del Zotol; la potencia eléctrica, últimamente establecida, permite mover sus bombas á la Compañía de San Rafael, que ya ha encargado nuevas bombas á Alemania, y el agua, que tanto trastornó los intereses de la Minería mexicana, empieza á bajar, siendo de esperarse por esto que muy pronto, renaciendo la actividad de las minas de Pachuca, su población volverá á aumentar, y el estado próspero, por desgracia interrumpido, proseguirá haciendo otra vez de Pachuca el centro minero más importante de la República.

II

FISIOGRAFÍA DE LA SIERRA DE PACHUCA.

FISIOGRAFIA DE LA SIERRA DE PACHUCA.

La Sierra de Pachuca forma parte del límite N.E. de la gran Cuenca de México y se halla comprendida entre los 19° 56′ y 20° 18′ de latitud N. Orográficamente considerada no presenta una absoluta individualidad, pues que ambos extremos se confunden con nuevos accidentes de relieve dependientes de otros elementos montañosos importantes; pero su diferente naturaleza geológica y la rapidez de descenso de sus vertientes constituyen las características necesarias para permitir su limitación dentro de las latitudes mencionadas.

Así definida la Sierra de Pachuca, debe ser considerada como uno de los eslabones más occidentales del sistema de montañas que en México se designa como Sierra Madre Oriental. Siguiendo la misma dirección general de este sistema, se ven todos los eslabones que continúan al N. de la Sierra de Pachuca hasta hacer la unión de ésta con la Sierra de Zacualtipán que, como sabemos, se enlaza con la Sierra transversal de Tulancingo, llamada también Sierra de Puebla.

La Sierra de Pachuca ha llamado siempre la atención de cuantos la han visitado en todo tiempo, no sólo por las riquezas fabulosas que encierran sus filones que se prolongan casi de uno á otro extremo, sino también por la belleza y variedad de paisajes que presentan los diversos agrupamientos de sus montañas: unas veces éstas se hallan cubiertas de exuberante vegetación alpina, y otras, por el contrario, vense desnudas interrumpiendo la regularidad de sus laderas, acantilados colosales y enormes peñas aisladas que afectan las formas más diversas y caprichosas; en las depresiones y hondonadas del terreno se extiende el caserío de pequeñas poblaciones pintorescas de delicioso clima y de temperamento sano.

Desde las principales cimas de la Sierra, que se hallan irregularmente repartidas en toda su longitud, se aprecia fácilmente la dirección general que podemos estimar en N. 45° W. tomando el promedio de la sinuosidad de sus

crestas y de los accidentes del complicado modelado de sus numerosos cuanto poderosos contrafuertes.

La longitud total de la Sierra de Pachuca medida desde el extremo N. de los cerros conocidos con el nombre de los Órganos de Actopan hasta la falda S. de los elevados cerros de la hacienda de Cuyamaloya, es aproximadamente de 43 kilómetros; su extremo N.W. se enlaza con la Sierra de Yolotepec, elemento importante de la Sierra de Zimapán y de Xacala, y por el lado S.E. sus últimas ramificaciones se confunden con una extensa zona volcánica que se extiende hasta las faldas de la Sierra de Puebla. Ambos extremos de la Sierra se ligan con elementos orográficos importantes que forman parte de la Sierra Madre Oriental que se extiende frente al Golfo de México.

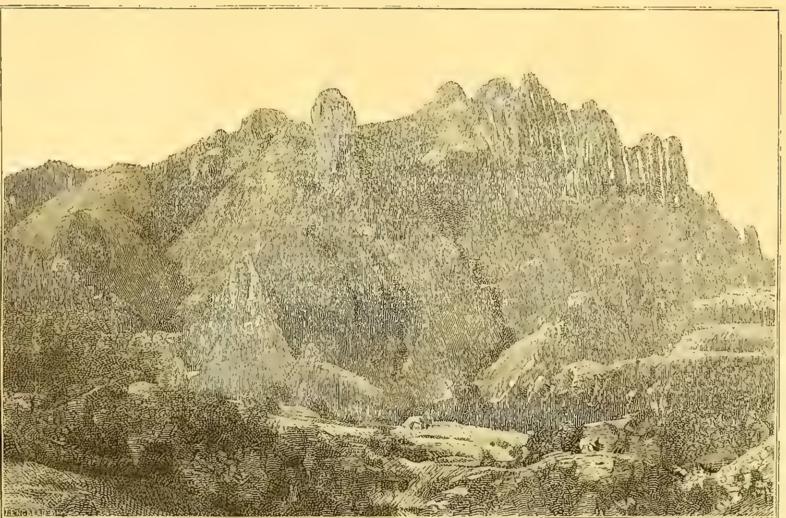
De los flancos occidentales de la Sierra, la mitad aproximativamente descansa sobre la Cuenca de México; el resto, ó sea la región del N.O., viene á caer al extenso valle de Actopan. Las vertientes orientales casi todas sirven de límite al angosto y alargado valle de Tulancingo, el más oriental de la Mesa Central en esta región.

La anchura de la Sierra varía mucho en diferentes lugares de su curso; pero un valor medio obtenido por comparación de diversas medidas hechas sobre el plano de la Sierra se puede estimar en 20 kilómetros, anchura que ofrece en su parte media, entre la ciudad de Pachuca y un punto de la carretera entre el Mineral del Monte y las haciendas de beneficio de Regla y San Antonio.

Sobre la cresta de la Sierra cuya dirección media hemos indicado, se levantan peñas aisladas que alcanzan alturas de gran consideración, notables por su separación del resto de las montañas y que aparecen bajo la forma de picos escarpados, de agujas caprichosas y de grandes acantilados, algunos de ellos inaccesibles y otros de acceso muy difícil. A esta circunstancia se debe que el perfil general de la Sierra sea una línea sinuosa, sobre la cual se levantan de la manera más irregular los airosos picos y elegantes agujas que hacen tan característica á la Sierra de Pachuca.

Para no hablar sino de las principales de estas eminencias, mencionaremos en el orden en que se encuentran al partir del extremo N.W. el precioso grupo de rocas escarpadas llamadas "Los Órganos de Actopan," en la parte superior de una extensa montaña de la que sobresalen las colosales y esbeltas agujas. El muy interesante espinazo conocido como las Ventanas y las Monjas del Chico (lám. II), enfrente de la pequeña población de este nombre. La más alta de estas grandes peñas tiene 2,944 metros sobre el nivel del mar. Al N.E. de Real del Monte se encuentra la peña del Zumate con 3,057 metros; al E. las del Gato y del Aguila con alturas superiores á 3,000 metros. Hay lugar á mencionar, aunque no sobresalen en altura, el curioso grupo de rocas de las "Peñas Cargadas," entre Real del Monte y la hacienda del Guajolote, y por último, cerca del extremo S.E. de la Sierra, los cerros de las Navajas (3,212 metros) y de los Ingleses (3,500 metros), y en los contrafuertes orientales el espinazo de Providencia y las peñas del Jacal y del Aguila, en-

LAMINA II.



Vista de las Monjas del Chico.

tre las cuales nacen dos hermosas barrancas notables por su poderosa vegetación y aspecto salvaje. La peña del Jacal se eleva á 3,200 metros y la del Aguila á 3,300 metros, semejantes á la altura del cerro de las Navajas, sin embargo de encontrarse esta motaña sobre la cresta de la Sierra y las anteriores sobre sus estribos.

Estos diversos puntos culminantes de la Sierra, sobre todo los que se hallan sobre su cresta principal, se hallan separados por altos portezuelos abajo de los cuales nacen barrancos. La montaña de los Órganos se enlaza á las montañas del Chico por el Puerto de la Paloma. Las Monjas del Chico y el macizo del Zumate se unen por una alta meseta llamada la Sabanilla, rodeada de altos y desnudos acantilados. Entre las montañas del Real del Monte, el Zumate, etc., se encuentra el portezuelo de Tezoantla que los liga con las montañas del Guajolote y de Cuyamaloya.

Comparando las dos vertientes de la Sierra de Pachuca, llama la atención su diferente aspecto topográfico, pues que los flancos occidentales, escarpados y de pendiente general más fuerte, mueren bruscamente en las llanuras vecinas, avanzando algunas veces bajos contrafuertes que forman pequeños valles en herradura bastante característicos, de los cuales podemos citar: el valle de Actopan, el pequeño valle de Concepción, el de Pachuca ó San Bartolo, el de Azoyatla, de salida bastante estrecha, limitado al W. por un estribo bajo y alargado, en cuyo extremo se encuentra el cerro de los Cubitos, y por último, el valle de Pachuquilla, limitado por el estribo anterior y un espinazo acantilado llamado del Chililete.

La vertiente oriental es de topografía más complicada, su pendiente general menos fuerte y sus estribos, sinuosos y alargados, limitan entre sí barrancas y cañadas profundas de curso irregular. De estas diferencias depende el distinto régimen hidrográfico de ambas vertientes que hace que los arroyos de la vertiente occidental sean ricos en una gran parte del año y de corriente momentánea é impetuosa en las épocas de lluvia. Citaremos como ejemplo el río de las Avenidas de Pachuca, que vierte sus aguas en la Cuenca de México, que en momentos casi inesperados arroja hacia esta Cuenca gran caudal de agua bajo la forma de crecientes que han sido en otras épocas de tan funestas consecuencias para la ciudad de Pachuca.

Las depresiones de la vertiente oriental llevan corrientes de agua de menor impetuosidad y de curso casi constante todo el año. Las más importantes corrientes de agua son: el río del Oro que nace en la montaña de los Órganos de Actopan; el río de El Milagro que baja de las altas montañas del Chico y cuyo curso constante se aprovecha en diversas y pequeñas instalaciones hidráulicas para molienda y concentración de metales; el río de Velasco que toma su origen en las montañas de Real del Monte y sigue al principio una dirección casi de S. á N. para continuar después plegándose á todas las ondulaciones de la falda de la Sierra. Estas diversas corrientes van á desaguar al N. de la Sierra de Pachuca en el río de Amajac, afluente del río Moctezuma que desagua en el Golfo de México.

Por su parte, el extremo S.E. de la Sierra dá nacimiento á algunos arroyos que desaguan en la barranca de Regla y en la Barranca Grande, recibiendo ésta á su vez las aguas del río de Tulancingo, que después de haber recorrido el valle de su nombre se encajona hasta su desagüe en la laguna de Mextitlán.

Los contrastes que en la actualidad presenta el clima en las dos vertientes de la Sierra son sumamente interesantes. Los vientos húmedos y cálidos de la costa del Golfo de México que llegan á la Sierra de Pachuca soplando en la dirección N. y N.E. al chocar entre la Sierra y elevarse á las regiones frías, condensan bruscamente su vapor de agua en los altos picos y en toda la cresta de la Sierra, resolviéndose con frecuencia en lluvias abundantes, en lloviznas persistentes ó en densas neblinas que son tan frecuentes en el Mineral del Chico y en Real del Monte, dando á estos lugares un temperamento frío y húmedo á favor del cual se desarrolla una vegetación alpina vigorosa y abundante, mientras que en las laderas occidentales de la Sierra, los vientos de que nos ocupamos llegan ya fríos y bastante secos y entonces se encajonan en las barrancas, valles y talwegs donde soplan con energía muy notable, como en la cañada que desemboca á la ciudad de Pachuca; y como por otra parte los vientos que llegan de la Cuenca de México son relativamente secos, el fenómeno de las lluvias en la vertiente occidental de la Sierra es sumamente escaso y ella presenta á consecuencia de esto, montañas, unas completamente áridas y rocallosas y otras totalmente desprovistas de vegetación arborescente, circunstancia que, reunida á la fuerte pendiente de los cerros, contribuye á que la circulación del agua superficial sea transitoria y torrencial y por consiguiente á producir esa notable escasez de agua que tanto deplora la ciudad de Pachuca.

Dada esta rápida descripción de la Sierra de Pachuca, pasamos á dar algunas ideas sobre la topografía del Mineral de Pachuca. Hállase éste situado en la falda S.W. y casi en la parte media de la longitud de la Sierra. El Mineral de Pachuca, propiamente dicho, se extiende en la mitad inferior de la vertiente, que es en donde se encuentra el sistema de vetas minerales del Distrito en una extensión aproximada de 20 kilómetros cuadrados, prolongándose el Mineral por el N.E. con el Distrito minero de Real del Monte. Las principales minas del Distrito están abiertas en tres de los contrafuertes principales de la Sierra que limitan á otras tantas barrancas, que reunidas forman el río de Pachuca, conocido también con el nombre de Río de las Avenidas, y el cual, como se sabe, recorre la ciudad de Pachuca en toda su longitud. Estas tres barrancas principales son la de la Sabanilla que corre casi de N. á S.; la del Rosario, de menor importancia que la anterior y situada en la parte céntrica, tiene un curso de N.E. á S.W. y se reune á la barranca oriental llamada de Texinca, cuya dirección general se aproxima á la de E. — W., y que después de reunirse á la anterior en San Nicolás, viene á juntarse á la barranca de la Sabanilla abajo de la hacienda de Loreto.

Distínguense como eminencias principales en los tres contrafuertes de este

Mineral, hacia el O. el elevado cerro de San Cristobal, Sta. Clara y el de la Esmeralda al N.O.; hacia el N. la peña de Buenavista y en el centro los cerros de Magdalena y de la Trinidad; hacia el E. los cerros de la Rabia, Ventoso y de San Pedro, y hacia el S.E. el cerro de Coronas. La mayor parte de estos cerros son de pendiente fuerte, presentando repartidas y siguiendo cierta orientación, grandes masas acantiladas que se levantan sobre su superficie, que contribuyen á hacerlas más escabrosas y agrestes. A su vez las barrancas son profundas, estrechas, sinuosas; de paredes casi acantiladas, dando lugar á veces á saltos como el que se ve inmediato á la mina de San José del Tajo en la barranca de la Sabanilla, y el de San Nicolás en la barranca de Texinca.

Barómetro Naudet & C^a—Calpini.

	m.
San Cristobal	2880
Encino	2710
Cerezo	2930
Mogote (Peña de Buenavista)	2944
L. Camino	2802
L. Boscosa	2769
Las Navajas	3212
Jacal	3200

	m.		
Cerro de Tepezalá	2381.90	Comisión Pachuca.	
Mineral del Chico	2350.60	„ „	
Peña de las Ventanas en la Sabanilla del Chico	3086.40	„ „	
Peña de Zumate	3057.20	„ „	
Cerro de las Navajas	3212.80	„ „	
Real del Monte, Parroquia	2678.60	„ „	
Pachuca, Parroquia	2438.24	„ „	2470.80 Inst. Lit.
Cerro del Chililete	2627.10	„ „	
Rancho del Guajolote	2763.00	Burkart.	
Cerro de Sta. Clara	2970.90	Comisión Pachuca.	
Peña de Juan Martín	3126.50	„ „	
Peña de Buenavista	2944		
Cerro de la Esmeralda	2930		
Cerro de San Cristobal	2880		
Cerro de la Rabia	2802		
Cerro Ventoso	2769		
Cerro de San Pedro	2617		
Cerro de la Magdalena	2710		
Órganos de Actopan	2977.1	Humboldt.	

TRIANGULACION DEL DISTRITO DE PACHUCA.

VERTICES.	Letras.	Angulos corregidos.	Lg. sen. ángulos.	Lados.	Valor lados.	Azimutes astronómicos.	Lg. sen. azimut.	Lg. cos. azimut.	COORDENADAS. z	x	y	SUPERFICIE.
Encino	E	70 31 00	9.9743913	E—C	1124,937	80 18 44 SW	9.9937621	9.2260302	m. 0,00	—1108,894	—189,303	
S. Cristóbal	C	80 25 00	9.9938965	C—C′	2182,920				+170,00			1210690 m. c.
Cerezo	C′	29 4 00	9.6864816	E—C′	2283,195	29 10 16 NW	9.6879029	9.9410978	+219,85	—1112,874	+1993,613	
Cerezo	C′	63 45 20	9.9527516	E—M	2366,890	27 10 4 NE	9.6595337	9.9492306		+1080,717	+2105,760	
Encino	E	56 20 20	9.9202958	C′—M	2196,456				0,00			2248990 „
Mogote	M	59 54 20	9.9371165						+234,16			
Mogote	M	51 9 00	9.8914208	E—C″	2536,292	70 35 56 SE	9.9746112	9.5213727		+2392,271	—842,510	
Encino	E	82 14 00	9.9959977	M—C″	3226,831				0,00			2974030 „
L. Camino	C″	46 37 00	9.8613997						+92,16			
Mogote	M	75 36 00	9.9861369	E—B	2545,280	67 19 4 NE	9.9650406	9.5861593		+2348,423	+981,510	
Encino	E	40 9 00	9.8094189	M—B	1694,407							
L. Boscosa	B	64 15 00	9.9545793									
Encino	E	37 6 20	9.7805228	E—B′	3807,615	33 29 36 SE	9.7418131	9.9211401		+2101,194	—3175,36	
L. Camino	C″	102 17 20	9.9899332	C″—B′	2350,945							2913100 „
L. Bart. Med.	B′	40 36 20	9.8134795									
L. Caminos	C″	59 48 40	9.9367009	C″—P	2345,445	52 41 56 SE	9.9006193	9.7824753		+1865,710	—1421,350	
B. Medi	B′	59 58 40	9.9374333	P—B′	2341,490							2383080 „
Pencas	P	60 12 40	9.9384506									
S. Cristóbal, Encino, B. Medi												1959450 „
Mogote, L. Camino, Pencas, L. Boscosa												7442913 „
Total												21132253 „

NOTAS.—La base (E y C) es un lado de la triangulación del Sr. Almeraz.
En el triángulo de S. Cristóbal, Encino, Bart. Med. se dedujo el ángulo en Encino para calcular la superficie.
La superficie del cuadrilátero se calculó por las coordenadas de sus cuatro vértices.

III

GEOLOGÍA GENERAL DE LA SIERRA DE PACHUCA.

GEOLOGIA GENERAL DE LA SIERRA DE PACHUCA.

Toda la Sierra de Pachuca está formada de rocas eruptivas terciarias. La descripción petrográfica de cada uno de los tipos y variedades forma por sí sola el objeto de un capítulo especial, á causa de la importancia que encierran las múltiples variaciones de una sola especie de roca por condiciones provenientes ya de alteraciones de carácter secundario genéticas ó puramente exteriores. Por ahora haremos constar que sólo se presentan tres especies distintas de rocas perfectamente subordinadas y son por orden de antigüedad: las andesitas, las rhyolitas y los basaltos, ocupando áreas muy diversas en esta región montañosa.

En efecto, las andesitas ocupan una vasta extensión y son con mucho las rocas predominantes, y en ellas arman las vetas de los Distritos Mineros de Pachuca, Real del Monte, el Chico, Sta. Rosa, Capula y Tepenené, situados estos últimos en la porción N.O. de la Sierra.

Las rhyolitas, menos abundantes, se hallan confinadas en el extremo S.E. de dicha Sierra, presentándose igualmente, aunque sin abarcar grandes superficies, en las cimas principales vecinas del Real del Monte y en los flancos occidentales entre la ciudad de Pachuca y la mesa de la Sabanilla, y por último, los basaltos sólo se eneuentran bajo la forma de reventazones en la parte alta de algunos de los cerros y bajo la forma de corrientes en los flancos orientales.

El tipo genérico de las andesitas es el de andesitas de piroxena de variados colores, aspecto y estructura; pero el tipo que podemos llamar normal es el de andesitas de color verde, bastante porfiroides, muy compactas y no afectando en el terreno estructura particular en masa. Por el contrario, las variedades de color obscuro que dominan principalmente en el Distrito minero de Pachuca son sumamente compactas, con estructura en lajas generalmente delgadas que se observan en el terreno enteramente ó muy vecinas á la vertical, con la circunstancia de que comunmente el rumbo de estas lajas es paralelo á la dirección general de las vetas minerales.

Las rhyolitas comunmente de colores claros que varían del rosado al violado y gris, unas veces muy compactas, porfiroides, con estructura imperfectamente columnar y dominando el carácter petrosilisoso como en las del Real del Monte; otras poco coherentes, esferolíticas, con estructura pseudo-estratificada como en los alrededores del pueblo de Cerezo, y finalmente, rhyolitas muy vítreas dispuestas en corrientes como las que se extienden en el extremo S.E. de la Sierra en el Guajolote, Cuyamaloya, etc.

Los basaltos cargados unas veces de olivino y otras casi enteramente desprovistos de este mineral, son: los primeros de color obscuro, compactos ó ampollosos cuando vienen en corrientes, y las labradoritas tendiendo más frecuentemente á estructura columnar, son más claras de color y no tienen aspecto de corrientes.

Preséntase á la simple vista la superficie general de la Sierra cubierta de manchas de extensión y colorido diverso que la dan un aspecto jaspeado más ó menos intenso que hace creer en la existencia de una enorme variedad de rocas á cuya presencia se deban estas diferencias de coloración. Una exploración detenida estudiando con cuidado la extensión y la naturaleza de estas manchas, revela que ellas son debidas á los fenómenos de oxidación y alteración en su masa, producidas por la acción combinada de la atmósfera y de la lluvia en relación con la estructura, la composición y la presencia de fenocristales en las rocas. En las rocas compactas desprovistas de fenocristales, esta alteración sólo ocasiona una oxidación en los elementos ferromagnesianos, oxidación que se extiende á unos cuantos centímetros abajo de la superficie de la roca, concretándose en la mayoría de los casos á la superficie de separación, líneas de fractura, pero que cuando la alteración es más avanzada comunica á la roca un color rojo pardusco que se extiende á toda la superficie cubierta por esta roca, dándole así un color característico generalmente más intenso en la proximidad de las vetas. Esta alteración ferruginosa se verifica también en las otras variedades andesíticas pero en grados de intensidad diversos que siempre sufren un aumento al aproximarse á los criaderos minerales; esta circunstancia explica la facilidad con la cual cualquier minero de la localidad puede reconocer aun á distancia el rumbo ó dirección de una veta, aun cuando, como sucede con frecuencia, esta veta no sobresalga de la superficie general del terreno bajo la forma de crestones, característica de cierto grupo de vetas minerales. Esta diversidad de coloración y la irregularidad con que los distintos tonos de colores se presentan en la superficie del terreno dan al Distrito minero de Pachuca los caracteres que el práctico designa con el nombre de *panino* del mineral.

En algunas andesitas, la existencia de una gran cantidad de magma amorfo impermeable á las aguas meteóricas las preserva mejor de la acción destructora de la atmósfera, y así estas rocas se conservan con su color primitivo sólo modificado en las líneas de fractura por la alteración ferruginosa. En otras, la existencia de magma microlítico abundante que las hace relativamente porosas y por consiguiente más accesibles á las aguas meteóricas, la descompo-

sición y alteración son más avanzadas con una acción más profunda en la masa de la roca.

Por lo que precede, se comprende fácilmente que en el terreno se encuentran todas las gradaciones de coloración entre los diversos tonos del pardo, del rojo, del amarillo y del gris; que unas veces éstas sean graduales, insensibles, y por lo mismo difíciles de apreciar á primera vista al pasar de un punto á otro del suelo; otras por el contrario, los contrastes de coloración son bruscos, fuertes y perceptibles aun á largas distancias.

Lo mismo puede decirse de las rhyolitas, en las cuales la estructura esferolítica y la poca cohesión ó compacidad de estas rocas facilita notablemente la acción de alteración y descomposición de los agentes atmosféricos, sólo que á causa justamente de la uniformidad de estructura, las variaciones en color son generales en toda la masa de la roca, tan notable en las andesitas por sus variantes de estructura. En las rhyolitas petrosilizosas de Real del Monte la resistencia á la alteración es mucho mayor, tanto por su compacidad como por la ausencia de elementos de fácil descomposición, y así estas rhyolitas presentan siempre tonos pálidos y uniformes.

Siendo la piroxena el elemento ferromagnesiano dominante, y á veces casi exclusivo de estas rocas, del cual proceden por descomposición, según el carácter de la piroxena, unas veces óxidos de fierro y otras silicatos verdes magnesianos, y no habiendo limitación definida entre las dos clases de piroxena, se comprende fácilmente que la misma roca en un fragmento relativamente pequeño, presente diferencias de color, lo que á veces da lugar á una apariencia brechiforme que es bien característica en la roca que forma los acantilados llamados Peñas Cargadas, cerca de Real del Monte. Las rocas verdes pasan con frecuencia á rocas de color gris verdoso, conservando su compacidad y sin sufrir modificación sensible en su estructura, pero esta coloración no es sino simple transición á la roca que abarca una gran superficie del mineral de Pachuca en su región del N. Es de color violado y se desagrega fácilmente á causa de ser menos compacta por la abundancia de fenocristales de feldespato que le dan la estructura porfiroide muy desarrollada y por la presencia de pequeñas manchas obscuras de piroxena parda, todo lo cual contribuye á dar á esta roca una gran semejanza á las traquitas por la aspereza de su superficie y la desigualdad de su grano.

Esta alteración, que como hemos visto, se ejerce en la roca con energía distinta según las variantes de la estructura fundamental y composición, prepara el material para la acción destructora de la erosión que se ha obrado sobre estas rocas de una manera continuada desde á mediados del Terciario y con energía variable hasta nuestros días, viniendo á determinar la esculturación y modelado final de la Sierra. En efecto, aquellas de estas rocas de grano grueso y poco coherentes se desintegran con facilidad produciendo material detrítico que por las laderas de fuerte pendiente de estos cerros es transportado á la parte baja de la Cuenca de México. El material procedente de la descomposición de las rocas compactas por acción de la helada, etc.

etc., es mucho más frágil y por lo mismo de transporte más fácil para el agua en movimiento. Esta rápida substracción de ese material detrítico apenas formado, explica la aridez característica de los cerros, á la vez que tomada en consideración la multitud de líneas de fractura que atraviesan la roca subdividiéndola en lajas de espesor variable y dividiendo su masa á profundidades considerables, permite suponer la presencia de multitud de superficies bastante uniformes que limitan los blocks de rocas que se descubren en los flancos de las montañas, desde pequeñas masas hasta grandes relices acantilados que forman esas figuras grotescas que sobresalen en algunos de los cerros. En efecto, siendo verticales ó muy próximos á la vertical, ciertos planos de fractura, se comprende que es á favor de estos planos por donde la acción química de los efectos atmosféricos se ejerce, preparando la acción mecánica que ha de venir á desgastar y á uniformar las superficies.

Siendo los principales planos de separación verticales y substrayéndose á veces el material sobre que se apoyan estas masas, llega el momento en que se desprenden lajas de tamaños diversos que dejan á descubierto superficies que seguirán la misma suerte que las anteriores.

Las andesitas de color rosado tienen gran facilidad para una rápida desintegración, que origina en el terreno superficies arredondadas y laderas uniformes, pues toda superficie de pendiente uniforme y suave se halla formada de esta roca, que constituye la base de los acantilados de que ya hemos hablado, las mesetas que coronan algunos cerros como el cerro en donde se halla la mina de San Pedro, etc.

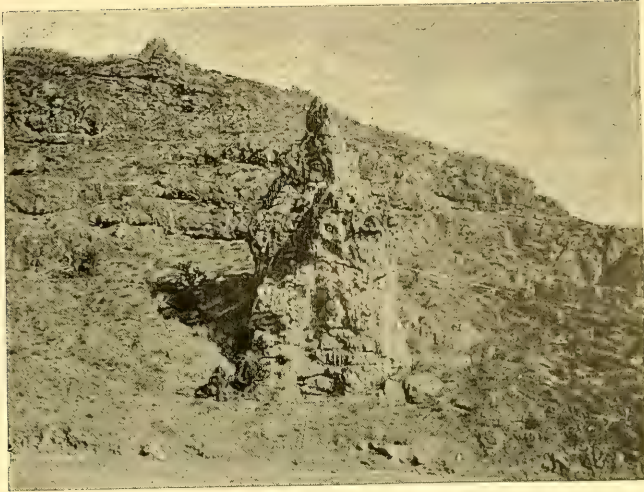
Entre los minerales componentes de estas rocas se encuentra algunas veces el cuarzo de primera consolidación en granos arredondados, cuya abundancia hace pasar estas rocas á verdaderas dacitas. Entonces la resistencia á la erosión es mayor y se forman pequeños acantilados entre los que podemos citar la Peña de Buenavista al N. de Pachuca, las cumbres de los cerros al S.E. del pueblo de Cerezo, y en varios lugares de Real del Monte.

El más característico lugar donde se ofrece la desigual acción erosiva en estas rocas violadas con cuarzo y sin él, es en la montaña de los Órganos de Actopan. El interesante grupo de tan elevadas agujas ú órganos está formado de dacitas violadas rodeadas de andesitas igualmente violadas pero sin cuarzo, naturalmente más desgastadas por erosión. Las rocas de los Los Órganos, más resistentes, ocupan hoy una altura notablemente superior á la del resto de la montaña, conservados allí como un esqueleto ó parte más dura y resistente de la roca violada. Testimonios de igual género aunque de menos importancia hay en otros muchos lugares de la Sierra.

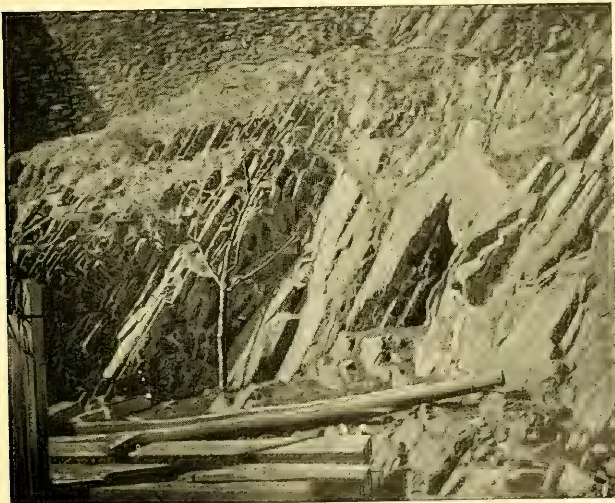
Rocas de color violado, muy vítreas, se encuentran en algunos lugares con más ó menos extensión, como al N. de la veta Vizcaina, cerca de las minas de La Camelia y San Rafael, con estructura en lajas formando pequeños acantilados; igualmente se presentan en las faldas occidentales y cerros vecinos de San Cristobal, de Sta. Apolonia, etc.

En las rocas violadas, más porosas, por decirlo así, la oxidación del fierro

LAMINA III



Falda del cerro de Rejona cerca de la mina del Cristo.—Avanzada erosión en las andesitas de piroxena.



Estructura en lajas de las andesitas de piroxena, cerca de la entrada al socavón de San Cristobal.

es notablemente avanzada, colorando entonces la roca en rojo intenso, muy común en las andesitas que se extienden al E. de Cerezo.

En algunos lugares de la Sierra y abarcando muy pequeñas extensiones, hemos encontrado tobas andesíticas de color verde en pequeñas capas en posición casi horizontal ó débilmente inclinadas, sobrepuestas á las andesitas verdes. Las diferentes capas tienen diferente grano y consistencia y su aspecto al microscopio revela que son de origen casi exclusivamente ígneo, como veremos.

Tienen un espesor que no excede de 20 metros y el lugar en donde se ven más características es la barranca de San Francisco, cerca de la presa de San Nicolás, en donde se conserva solamente un pequeño girón, pues han sido removidas por las aguas y en las crecientes de este arroyo, como lo manifiesta un salto de cerca de 20 metros de altura formado en el contacto de estas tobas y las andesitas macizas. Solamente en los bordes de esta barranca, demasiado angosta y limitada por acantilados, es donde se observan las tobas. En otros puntos donde la hemos encontrado, solamente se conservan muy limitados ó pequeños girones que se han salvado de esta activa erosión.

En las partes culminantes de la Sierra de Pachuca desempeñan un papel preponderante gruesos bancos de brechas andesíticas. Los fragmentos que los forman son de andesitas violadas y rojas, que indican su avanzada alteración, y de tamaño que varía desde un centímetro hasta un milímetro, soldados los unos á los otros de tal manera que ofrecen bastante resistencia á la separación, siendo el cemento que los une sumamente escaso y el que más contribuye á la desintegración superficial de los fragmentos de andesita. Esta escasez de material de cementación y la gran dureza de las brechas sugieren la idea de su formación por una acción volcánica enérgica y esfuerzos poderosos de presión, y ya veremos cómo se justifica la idea cuando hablemos de la sucesión de las rocas y tomemos en cuenta su posición en las partes elevadas de la Sierra y su relativa posición con las demás rocas. Estas brechas andesíticas tienen un espesor superior á 400 metros y ocupan la parte central de la cresta de la Sierra de Pachuca desde las montañas de Capula al W. del Mineral del Chico, hasta las Peñas de Zumate en Real del Monte, es decir, la parte más dentellada y escarpada de la Sierra donde la forma caprichosa de sus picos es la consecuencia del desigual trabajo de erosión sobre estas grandes masas. En efecto, los grandes acantilados designados con los nombres de Las Monjas, Ventanas del Chico y Zumate, etc., no son otra cosa que los restos de un prolongado espinazo ó cuchilla de más de 10 kilómetros de longitud y de 5 kilómetros de potencia, desgastado é interrumpido por las acciones de denudación. Trabajo á cuya intensidad han contribuído eficazmente los planos de separación de los grandes bancos en que se separan las brechas. El grabado que adjuntamos, que representa las Monjas del Chico, permite ver con facilidad estos planos de separación casi verticales, orientados generalmente en la dirección de la cresta de la Sierra, dando lugar á un desprendimiento en gigantescas tablas ó relices, hasta de 150 metros de altu-

ra, y que tanta belleza comunican al paisaje. A consecuencia de las grandes masas desprendidas de su posición original, hay grandes acantilados cuyos planos de juntura ocupan muy diversas posiciones é inclinaciones, pero en general, la posición de estos planos en dirección de la Sierra será un argumento de gran valor cuando estudiemos la orogenia de esta importante región montañosa.

A las andesitas de piroxena, cuya distribución y condiciones generales de yacimiento acabamos de bosquejar, se sobreponen en varios lugares de la Sierra rocas con exceso de siliza, verdaderas rhyolitas en casi todas sus variedades, desde rhyolitas muy cristalinas con gran semejanza á las nevaditas de Richthofen hasta las obsidianas puras de lustre de vidrio y transparentes en los bordes. La sobreposición de estas dos distintas especies de rocas, es decir, la subordinación que precisa su edad relativa, es fácil seguirla en muchos lugares en los que el aspecto diferente y la estructura diversa de dichas rocas contribuyen á su distinción. En un principio creimos que ambas rocas eran provenidas de un solo período de erupción como resultado de una simple diferenciación. Con frecuencia sucede que las andesitas próximas á las rhyolitas vienen bastante cargadas de cuarzo de primera y de segunda consolidación, como se ve en muchas regiones vecinas á Pachuca; pero posteriormente nuestras excursiones á puntos más lejanos de la Sierra han mostrado que se trata de rocas de distintas edades. En efecto; en las montañas al N. y N.W. del pueblo de Cerezo las rhyolitas ocupan una gran extensión, llegando casi hasta la cima de la Sierra en donde yacen en contacto con las brechas andesíticas. En las faldas de estas montañas, las rhyolitas aparecen en bancos casi horizontales dispuestos en gradería como provenidos por corrientes sucesivas que ha escalonado el trabajo de erosión. En las canteras abiertas á las orillas del pueblo de Cerezo, de las que se extrae un buen material de construcción, se observa claramente la serie de bancos horizontales cuyas superficies de separación se aprovechan en la explotación. En estos bancos y bajo un examen más detenido, se perciben las bandas fluidales del magma petrosilizoso de la roca también en posición horizontal, en alternancia con bandas en estado más avanzado de promorfismo, dando cuarzo y abundantes esferolitas.

En esta misma región, el contacto entre las andesitas y las rhyolitas se percibe con suma claridad, á causa de haber tenido lugar en época muy posterior á la venida de las rhyolitas un poderoso fracturamiento, acompañado de resbalamientos y hundimientos locales por movimientos de reajuste que han seguido en un tramo esta línea de contacto, fenómeno que ha producido algún cambio en la ordenación topográfica, pues que un contrafuerte de la Sierra ha sido cortado bruscamente dejando en la cortadura un elevado cantil y superficies de resbalamiento, ya en las andesitas, ya en las rhyolitas.

Pero hay que distinguir las rhyolitas de erupción bien definida posterior á la de las andesitas, las andesitas cuarcíferas (dacitas), impregnadas posteriormente de sílice, que tienen la completa apariencia de rhyolitas y que son

frecuentes en algunas cimas de los cerros de la Sierra, ya en contacto como hemos dicho con las rhyolitas ó bien con los basaltos; en todo caso parece que la sílice es un producto resultante de la impregnación por aguas termales cargadas de este mineral que circulaban en las superficies de contacto, y dieron origen al encostramiento de los basaltos como lo podría demostrar en parte la presencia de trydimita en algunas de estas rocas básicas. Por ejemplo: en el cerro de San Cristobal, las andesitas en contacto con las labradoritas, sin perder completamente su carácter, se ven notablemente silizosas disminuyendo la cantidad de cuarzo á medida que se alejan del contacto, pero en todo caso de una manera insensible.

El fenómeno de silicificación por contacto en las rhyolitas, debemos considerarlo hasta cierto punto análogo al que se verifica en las andesitas verdes de la proximidad de las vetas ó al que tiene lugar en los fragmentos de las rocas que han quedado formando parte de los crestones, pues presentan con éstos las más grandes semejanzas. Sin embargo, los caracteres de las rocas silicificadas y las de las rhyolitas originadas, son á veces bastante diferentes para no dar lugar á confusión, como se verá en la descripción petrográfica de las rocas.

Las rhyolitas que se extienden en el extremo S.E. de la Sierra, más vítreas que las de Pachuca y Real del Monte, acompañadas de tobas y cenizas volcánicas, revelan en sus caracteres que han sido producidas por fenómenos volcánicos comparativamente más recientes que los que dieron origen á las otras rhyolitas de la Sierra. La denudación, en efecto, no ha sido tan enérgica ni ha tenido tiempo bastante para substraer el material detrítico volcánico que en muchos lugares las cubre. En las depresiones, y rodeando á las rhyolitas, encontramos unas veces brechas ígneas formadas de fragmentos angulosos de rhyolitas cementados por tobas, ó bien series de capas delgadas de tobas más ó menos pumíticas envolviendo grandes bolas de obsidiana cuyo origen es indudablemente el de bombas. En otros lugares, las obsidianas ofrecen el viso dorado ó plateado por los poros gaseosos, ó bien una masa de esferolitas cementadas por un magma vítreo obsidiánico.

Con respecto á la estructura en masa de las rhyolitas, es muy interesante hacer notar que ésta, en general, revela su naturaleza básica, pues se presenta en grandes corrientes con estructura columnar y á veces con marcada estructura de escurrimiento. La primera es visible en los grandes acantilados que ya hemos descrito, como son las peñas del Aguila, Jacal y Providencia, y la segunda en los cerros de las Navajas y de los Ingleses, entre las haciendas del Guajolote y Cuyamaloya.

Las andesitas silicificadas del cerro de San Cristobal proveen, dada la gran dureza de la roca, de muy buenos blocks que se emplean en la molienda de metales en las arrastras y se designan con el nombre de "piedras voladoras." Esta misma roca y las rhyolitas de Cerezo son empleadas con mucho éxito en la fortificación interior de las minas.

Después de las erupciones de rhyolitas, y como fenómenos consiguientes á

una poderosa actividad volcánica, se han formado grandes depósitos de tobas que en lechos sobrepuestos encontramos en varios lugares de la Sierra. La naturaleza de estos depósitos y las condiciones de su yacimiento hacen sospechar: 1º, condiciones de topografía durante este depósito muy diversas de las de las formas actuales, y 2º, una acción hidrotermal que ha contribuído ministrando material de precipitación química. En efecto, las capas de tobas rhyolíticas ocupan por regla general porciones de corta extensión superficial en las laderas de algunas montañas ó en el nacimiento de algún talweg ó barranca, y las capas están en posición muy vecina de la horizontal.

Las tobas rhyolíticas existentes en la Sierra de Pachuca se pueden dividir en dos clases según su origen; las unas, rocas piroclásticas, á las cuales se les debe llamar propiamente tobas ígneas, y las otras, rocas clásticas á las cuales corresponde con propiedad el nombre de tobas de sedimentación mecánica. Las primeras se apoyan directamente sobre los macizos de rhyolita; son de aspecto brechiforme y están formadas por la aglomeración y cementación de fragmentos de diversos tamaños, reunidos sin orden, y que se encuentran en distinto estado de alteración y silicificación; son el producto de trituración de rhyolitas ya consolidadas, removidas y transportadas á más ó menos distancia enmedio de erupciones lodosas y bajo la influencia de aguas termales que contribuyeron á su descomposición y á la impregnación en mayor ó menor cantidad de sílice libre. Están destituídas de la disposición zonada ó en bandas, correspondientes cada una á material del mismo tamaño ó de igual peso, es decir, por su estructura se infiere claramente que no son rocas producidas por la acumulación de material de transporte en el seno de aguas en movimiento que las fueran depositando de acuerdo con la energía de dichas aguas y bajo las condiciones de peso y material acarreado.

Las tobas clásticas descansan directamente sobre las anteriores en algunos lugares, y en otros se apoyan directamente en las rhyolitas. Estas tobas tienen la estructura zonada característica de la agrupación ó sucesión de los lechos de sedimentación mecánica; conservan casi la posición horizontal primitiva de su depósito, pero hay lugares en los cuales estos lechos tienen una débil inclinación hacia la parte baja ó falda de la montaña. El material de que están compuestas, procede de la descomposición de las rhyolitas unas veces, y otras de las rhyolitas y tobas rhyolíticas preexistentes; dispuestas en lechos alternados en los cuales se nota modificación en el grano y en la estructura de la roca, y aun en un mismo lecho ó capa se distingue claramente la gradación en el tamaño de los elementos, desde los puntos más inmediatos á la roca que les sirve de apoyo, hasta aquellos más lejanos que corresponden á la parte céntrica de las pequeñas cuencas cerradas en que tuvo lugar el depósito mecánico de estas rocas. Presentan comunmente, á distintos niveles, capitas donde la impregnación silizosa ha alcanzado un máximum, siendo entonces la roca, á la vez que de grano más fino, mucho más compacta y de mayor dureza.

En las canteras de Tezoantla, una de las localidades más interesantes en

donde se puede estudiar el yacimiento de las tobas rhyolíticas, se ve que los lechos silizosos se hallan repartidos exclusivamente en el segundo tercio del conjunto de estas capas, notándose que estos lechos se hallan separados por capas menos silizosas, en las cuales se encuentran, así como en los lechos superiores, hojas y restos de plantas. A partir de esta zona de silicificación se nota, en la parte superior, que las capas de toba á medida que son más recientes son menos coherentes y van adquiriendo una semejanza cada vez mayor á las tobas del Pleistoceno que se extienden en la superficie de los valles occidentales.

Las rocas eruptivas más recientes de la Sierra de Pachuca son las labradoritas y basaltos que aparecen en muchos lugares, generalmente bajo la forma de pequeñas corrientes, en puntos bastante elevados con relación á los valles que rodean al E. y N.E. la Sierra de que nos ocupamos.

El papel de estos basaltos y su importancia geológica es de llamar la atención desde que al pie de la vertiente oriental de la Sierra han dado lugar á una verdadera inundación donde las condiciones de yacimiento permiten deslindar en límites bastante estrechos la edad relativa de esta roca, cuya importancia en México es grande en atención á la infinidad de lugares en que con análogos caracteres se presentan. Pero no ocupándonos más que de las rocas basálticas que en el macizo de la Sierra se encuentran, ya dijimos que ocupan pequeñas extensiones, algunas veces tan angostas que casi adquieren la forma de diques.

En el cerro de San Cristobal la labradorita se extiende bajo la forma de un casquete que cubre la cima de este cerro á una altura de 500 metros próximamente sobre la ciudad de Pachuca. Descansa sobre las dacitas ó andesitas cuarcíferas que han sufrido un metamorfismo de contacto que ha modificado la textura de estas rocas transformándolas en rocas de color rojo con el aspecto de los tezontles de erupción. Este metamorfismo se extiende en una pequeña zona en el contacto de las dos rocas.

El casquete basáltico tiene en sus bordes un espesor variable, alcanzando en algunos puntos 40 metros y en otros adelgazándose hasta solamente tener 4 ó 5 metros de espesor. La roca en masa se presenta bajo la forma, en unos casos, de masas irregulares; en otros, es imperfectamente columnar y en la parte superior adquiere una estructura en lajas, notándose siempre que á cada una de estas variantes de estructura corresponden modificaciones en la textura, así que, el aspecto macroscópico de la roca varía y con él la coloración, notándose cambios de color gris, pardo rojizo y negro.

El casquete de basalto se extiende bajo la forma de una V de brazos cortos y desiguales, orientados próximamente de N.E. á S.W. y de E. á W., siendo de mayor longitud el primero.

Es sumamente notable en esta labradorita de San Cristobal la modificación que en su estructura microscópica presenta la roca cuando se comparan ejemplares tomados de la superficie y los que proceden de regular profundidad. Estas modificaciones son siempre variaciones que están en relación con las

condiciones físicas en que tuvo lugar el enfriamiento de la roca. Así, el enfriamiento de la roca en la superficie originó la consolidación inmediata y violenta de un magma en vía de cristalización, dando esto lugar á la formación de microlitas fibrosas de labrador y de granos microlíticos de augita, acusando en su compuesto una sola consolidación. En el socavón llamado de Prosperidad que alcanza 900 metros de longitud y que se halla abierto en la falda occidental del cerro de San Cristobal, se encuentra un tramo de cerca de 400 metros de socavón labrado sobre esta roca con un desnivel de 300 metros abajo de la cima del cerro; en ejemplares de esta roca se ve que persiste una sola consolidación, pero que la estructura es casi ofítica á causa del gran desarrollo de cristales de labrador y anortita de formas microlíticas. Es este, pues, un caso de modificación en la estructura de la roca, que responde con toda claridad á las ideas expuestas por Mrs. Iddings y Hague[1] para las rocas de Washoe y que al aplicarlas á las rocas del Mineral de Pachuca simplifican de manera notable la petrografía de esta localidad.

También se encuentran labradoritas negras semejantes á las de San Cristobal en el cerro de los Cubitos al S. de la ciudad de Pachuca, en corrientes que cubren á las dacitas y rhyolitas de esa región.

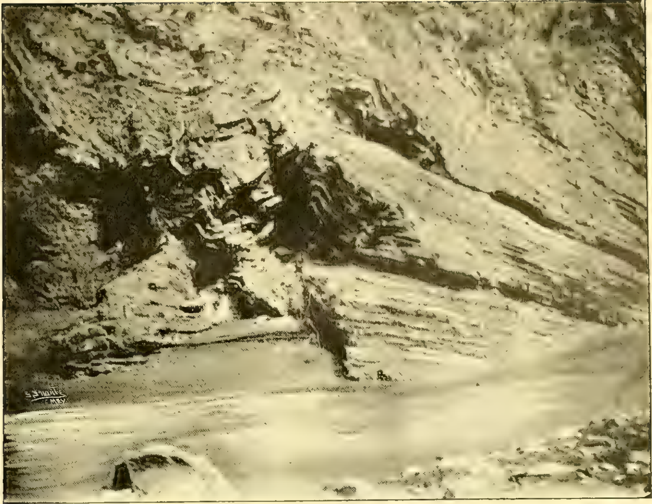
En los contrafuertes septentrionales de las montañas del Chico y en las márgenes de un gran tramo del río de Velasco aparecen basaltos bajo la forma de diques y corrientes de corta extensión, en algunos puntos sobrepuestas varias de estas corrientes cubriendo á las andesitas de piroxena y también á las calizas cretáceas en el fondo del río de Velasco y cerca de las fuentes termales de Atotonilco el Grande. En los cerros del Guajolote y hacienda de Cuyamaloya los basaltos, abriéndose paso á través de las rhyolitas, se presentan bajo la forma de reventazones, protusiones de pequeñas dimensiones y esparcidos irregularmente. Hay además otras regiones de la Sierra de Pachuca en donde los basaltos aparecen cubriendo superficies de terreno muy pequeñas.

Debajo de las corrientes de basalto que se desprenden de los flancos orientales de la Sierra de Pachuca y se extienden por la vasta meseta de Atotonilco el Grande, se descubren rocas sedimentarias dislocadas que constituyen un poderoso complexus que en algunos puntos alcanza una potencia superior á 500 metros. El complexus de rocas sedimentarias se halla compuesto de delgados estratos de areniscas calcáreas que alternan con pizarras arcillosas y margosas, y algunos lechos de caliza. En el cauce del río de Velasco que corre al pie de la Sierra, lo mismo que en las profundas barrancas del Grande y de Regla, se ven estas rocas plegadas formando pliegues estrechos y cortados por numerosas fallas, á favor de las cuales se han deslizado grandes blocks de la formación durante los movimientos de reajuste posteriores á los movimientos orogénicos de la región. (Lám. IV.)

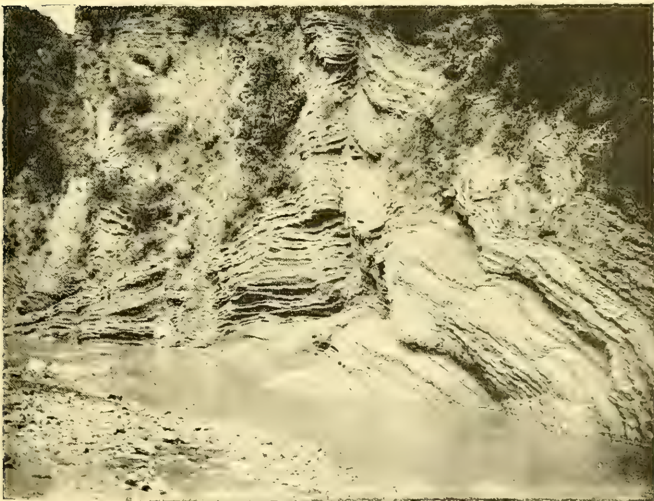
La parte superior de esta formación sedimentaria presenta todas las hue-

1 Iddings y Hague.—The Rocks of Washoe District.—Bull. U. S. Geol. Surv, Washington, D. C.

LAMINA IV



Barranca de Regla—Dislocaciones en las pizarras.



Barranca de Regla—Pizarras arcillosas cretáceas.

llas de una erosión prolongada y activa que destruyó las crestas de los anticlinales y modificó notablemente la superficie del terreno.

Las areniscas son en lo general de grano fino, bastante compactas y resistentes, de color de distintos tonos del amarillo ceniciento al gris; las pizarras son poco resistentes, de colores de varios tintes del gris, negro agrisado, etc. Son en lo general mates ó de lustre débil, imperfectamente fíciles, y en algunos puntos, en lugares especiales de los pliegues, los lechos de pizarra presentan un lustre satinado en las caras de estratificación.

Los lechos de caliza son escasos, bastante compactos, de color gris, y en lo general son calizas cargadas de más ó menos arcilla.

La dirección general del plegamiento de estos estratos es —N.W. teniendo, como es de suponerse, inclinaciones variables los flancos de los diferentes pliegues y en algunos puntos se notan anticlinales con rumbos distintos del rumbo medio general. Debemos hacer notar aquí el paralelismo aproximado del rumbo de los pliegues de esta formación con la dirección media general de la Sierra de Pachuca, así como con la que afecta la Sierra Madre oriental en esta porción del país.

En este grupo de rocas no hemos encontrado restos fósiles, y su carácter petrográfico muy semejante al de las rocas del Cretáceo superior del N. de México, sugiere inmediatamente la referencia de esta formación á dicha subdivisión del sistema Cretáceo. En comprobación de esta determinación, hacemos constar que más hacia el N., junto á la población de Atotonilco el Grande, así como en terrenos de la hacienda de San Pedro de Vaquerías, se descubren las calizas compactas fétidas con Hippurites y Radiolites del Cretáceo medio mexicano, y las cuales en su parte superior, al cargarse gradualmente de arcilla se vuelven apizarradas, y entonces alternan con capas de areniscas calcáreas semejantes todas ellas á la formación de que nos ocupamos, pareciendo corresponder á depósitos que se verificaban en el seno de aguas turbias y ya cuando los depósitos calizos de aguas profundas habían empezado á hacer emersión; pues se nota una diferencia en el rumbo y echado de las capas de las dos formaciones, diferencia que indica una discordancia en la estratificación, discordancia que no nos ha sido posible observar sobre el terreno por hallarse esta formación sedimentaria cubierta por las corrientes basálticas.

Las areniscas y pizarras que hemos referido al Crecáceo Superior se ven en las paredes de la barranca de Regla, cubiertas en unas partes directamente por el basalto, y en otras, entre el basalto y las pizarras viene intercalada la toba pomosa, y el trípoli que se interpone en lechos entre estas tobas.

Después del plegamiento de los estratos cretáceos de Regla, por los movimientos orogénicos de la región, tuvo lugar una serie de fenómenos que ocasionaron el despedazamiento, pudiéramos decir, de los pliegues ya formados. Estos fenómenos esencialmente consistían en movimientos que afectaban extensiones más ó menos considerables de esta región, y los cuales se venían á resolver en esfuerzos de tensión, torsión y presión. Las rocas siendo relati-

vamente plásticas cedían á todos estos esfuerzos, pero pasado cierto límite se producían en el conjunto de los estratos fracturas que, normales en su dirección á la del empuje ó presión lateral, constituían otros planos de menor resistencia sobre los cuales se verificaban deslizamientos, ya hacia abajo, ya hacia arriba, según que los blocks producidos por estos fracturamientos se deslizaban en espacios más amplios ó eran obligados á depositarse en espacios relativamente más cortos. Una ligera inspección de las paredes acantiladas de la barranca de Regla en la parte donde están á descubierto estos estribos cretáceos, muestra un gran número de grietas que son otras tantas fallas de pequeños saltos y cuya dirección é inclinación son muy variables, produciendo en el grupo de estratos la subdivisión de éste en pequeñas cuñas y blocks prismáticos de todas dimensiones.

Desde fines del Cretáceo las pizarras y areniscas de Regla que habían quedado en seco y que se hallaban sometidas á un movimiento vertical lento y prolongado, eran el sitio de una erosión que se verificaba con energía gradualmente creciente en un principio hasta la completa formación de la Sierra de Pachuca, y que á partir de esta época, colocadas las pizarras á un nivel inferior al cual descendían las aguas de la vertiente de Pachuca con un carácter torrencial, el desgaste por las aguas en movimiento llegó á su máximum y fué entonces cuando empezó el sistema de drenaje de toda la región N.E., que vino á constituir las rocas sedimentarias cretáceas y la porción más baja y contigua á la Sierra de Pachuca y naturalmente aquella en la cual tenían que reunirse las aguas que bajaban de la Sierra abriéndose su cause y preparando el curso permamente de estas aguas. Era pues, ésta, una región en la cual la erosión debía de ejercerse con mayor actividad, tanto por la naturaleza de las rocas que son solubles, poco coherentes y de desintegración fácil, como por la posición topográfica que hacía que ellas recibieran con choque las aguas de circulación superficial, y ahora á fuerza del agrietamiento y la solubilidad de las rocas, esta porción de terreno impermeable en grande y la circulación subterránea de las aguas en su acción disolvente y de desgaste ayudaba á la erosión de la superficie. El resultado de toda esta combinación de esfuerzos de desgaste fué la formación de los valles en donde ahora corren las aguas del río de Velasco y las de la barranca de Regla.

Constituída de esta manera una gran depresión en el terreno y como consecuencia de los últimos movimientos en esta región acaecidos, se verificaron las erupciones basálticas que bajo la forma de corrientes se extendían sobre esta depresión rellenándola y modificando por completo la topografía de la localidad, quedando definitivamente cubierto el extenso valle de Atotonilco el Grande por un manto de lava basáltica que tendía á formar una sola superficie de nivel. Transformada de esta manera la topografía de la falda oriental de la Sierra de Pachuca, el agua en su circulación superficial comenzó su obra de destrucción sobre estos lechos de basalto, y como éste se halla formado de columnas que abarcan casi todo el espesor de la corriente de lava, columnas que se apoyan en su base sobre material deleznable, toba vol-

cánica, en otras lechos irregulares de trípoli, el agua con facilidad penetrando á favor de las caras de los prismas de basalto, pudo minar esta corriente, que por otra parte, no tiene un espesor uniforme, y el trabajo de erosión se ha verificado, no bajo la forma de un desgaste gradual y lento, sino bajo la de derrumbes de columnas que dejaban paredes acantiladas que á su vez van sufriendo el mismo fenómeno, produciendo así saltos de agua como el de la cascada de Regla y anfiteatros en gradería como el que se halla inmediato á dicha cascada. (Lám. V.)

En este estado el agua que se precipita en cascadas carcome la roca que sirve de apoyo á la corriente basáltica y el salto de agua retrocede continuamente.

Hemos dicho que las corrientes de basalto tienen un espesor variable y así hay puntos en los cuales alcanzan 100 metros y en otros solamente tienen unos cuantos metros; están constituídas por columnas generalmente verticales, algunas veces inclinadas, y también dispuestas en grupos radiados ó en abanico que se apoyan sobre basalto más cristalino unas veces, y otras sobre basalto arenisco ó tezontle, y vienen coronados por basalto compacto y menos cristalino y ampolloso en la superficie, mostrando frecuentemente la estructura de escurrimiento. Las columnas basálticas son de sección pentagonal y de dimensiones que varían entre 40 y 80 centímetros de diámetro, encontrándose en la superficie de fractura, por contracción por enfriamiento del basalto, pequeños grupos de columnitas basálticas radiantes, de un centímetro ó un poco más de espesor. En las oquedades de las columnas se encuentran á veces algunas zeolitas bien cristalizadas, como la chabasia y la natrolita, también rodeadas de olivino, agujas de aragonita y calcita cristalizada en escalonaedros.

Habiendo sido bastante fluido el basalto, la corriente de lava al escurrir y moverse siguiendo todas las irregularidades del suelo en la falda de la Sierra de Pachuca, se adaptaba á todos los accidentes de relieve rellenando las depresiones, coronando las pequeñas eminencias y moviéndose á lo largo de los flancos, y según que encontraba terreno seco ó húmedo, permeable ó impermeable, y en general, circunstancias que favorecían su enfriamiento rápido, la corriente, en su superficie inferior en contacto con el suelo, por el enfriamiento rápido se volvía ampollosa, escoriácea, etc.; unas veces este relleno se hacía de un modo tranquilo y la lava fluida seguía escurriendo por la parte superior, notándose entonces toda la gradación insensible desde muy compacta hasta escoriácea y tezontle, ó bien la extremidad de la corriente ya transformada en tezontle reaparecía transportada por las rocas de la corriente en forma de verdaderas brechas de tezontle con elementos en estado de oxidación bruscamente avanzado.

Todas estas modificaciones en la superficie inferior de la corriente se descubren en muchos puntos de las paredes de la barranca de Regla, que corresponden á las pequeñas depresiones del suelo por las cuales escurrían aguas tributarias de la corriente principal, precursora del actual río de San Antonio.

Tenemos que hacer notar la existencia en el seno de la formación cretácea de Regla de diques de basalto que terminan hacia abajo en cuña ó fondo de saco, y cuyo relleno ha tenido que verificarse de arriba á abajo, habiéndose formado dichos diques del basalto fluido que penetraba en las grietas y cuarteaduras de la formación cretácea, que eran rellenadas por arriba durante el escurrimiento de la lava.

Llama la atención también que estos diques de basalto no presenten en su estructura microscópica modificación sensible desde las paredes de contacto con la roca sedimentaria hasta el centro de los diques, y que ni en la roca sedimentaria encontremos fenómenos de metamorfismo de contacto á lo menos perceptibles á la simple vista, en lo que se refiere á la modificación de estructura de las rocas calizas, que por la acción de rocas calientes ígneas se transforman en calizas granudas ó mármoles.

En el extremo S.E. de la Sierra de Pachuca han tenido lugar numerosas erupciones volcánicas de diferente importancia, algunas de ellas contemporáneas de las del valle de Atotonilco el Grande, y las otras, posteriores á éstas, continuación de la actividad volcánica durante el período Plioceno, terminando toda esta actividad volcánica con algunas erupciones que se verificaron durante el Pleistoceno. Numerosos son todavía los volcanes que conservan sus cráteres en perfecto estado de conservación y se encuentran estos volcanes casi en contacto con las rocas rhyolíticas de Cuyamaloya. Entre los más notables citaremos el volcán de Tecajete, de respetable altura, aislado y de forma cónica, con un cráter abierto en la parte superior. Tiene pendientes fuertes y se halla rodeado de volcanes más pequeños que llevan cráteres de grandes dimensiones, por los cuales salieron las pequeñas corrientes de lava, tobas volcánicas y cenizas que se ven en el tramo comprendido entre Tepa y Tulancingo, por el cual pasa el Ferrocarril de Hidalgo en su ramal á Tulancingo.

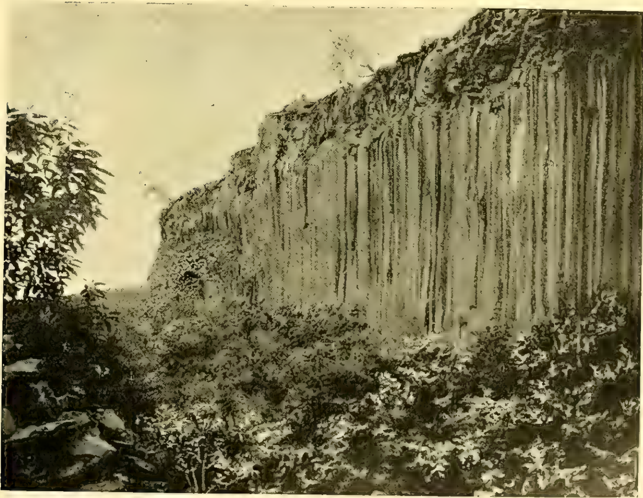
Dadas ya las ideas generales relativas á la naturaleza mineral y á la diversidad de las rocas eruptivas componentes de la Sierra de Pachuca, creemos conveniente exponer las condiciones bajo las cuales han debido aparecer y sucederse todas estas rocas y dar una idea de los acontecimientos geológicos más importantes que con la aparición de dichas rocas se relacionan.

La primera dificultad con que se tropieza es la explicación del modo de aparición de la roca fundamental de la Sierra, que todo hace creer que se trata de un fenómeno propiamente volcánico. En apoyo de esta opinión podemos invocar las siguientes observaciones: diversidad de las rocas, su mezcla aparente en la superficie, la poca extensión superficial que generalmente abrazan y el orden de sobreposición de todas ellas. Si la Sierra de Pachuca hubiera sido formada en su base en lo que se refiere á la roca fundamental, ó sea el tipo andesítico, por la erupción á favor de una grieta longitudinal más ó menos aproximada en su dirección á la dirección general de la Sierra, habría, por lo menos para las rocas andesíticas, una uniformidad aparente en igualdad de nivel, y á lo largo de toda la Sierra encontraríanse modificacio-

LAMINA V



Columnas basálticas.—Cascada de Regla.



Columnas basálticas.—Barranca de Regla.

nes en la estructura de la roca en un sentido transversal á dicha Sierra, con tendencia siempre á conservar cierta uniformidad para la misma altura y posición de la roca con respecto á la que la cubre y á las que vienen debajo; si la Sierra hubiere sido formada por erupción á favor de una grieta, podían haberse dado dos casos: la formación en una sola erupción prolongada y de acción bastante larga, ó la formación por emisiones que se sucedían por intervalos de reposo. En el primer caso la estructura general de la Sierra sería la de un macizo de rocas de naturaleza compacta y hasta cierto punto homogénea, ó dispuestas en bancos, ó bien de estructura en lajas, pero sin estar separados los bancos por depósitos fragmentarios intercalados; en el segundo caso la estructura general sería de corrientes no forzosamente separadas por depósitos brechiformes, pero sí perfectamente distinguibles una de otra, ya que la aparición de cada una de estas corrientes se verificaba después de intervalos de reposo durante los cuales tenía lugar la erosión de la superficie, la oxidación y alteración de la roca y la remoción y desarreglo consiguiente á las porciones superficiales de la roca, más ó menos desintegradas, que vendrían á establecer una transición brusca á la roca compacta de la siguiente emisión, todo lo cual produciría en el conjunto una heterogeneidad bien manifiesta en la composición de la Sierra y cierta regularidad ú ordenación en las corrientes correspondientes á las distintas épocas de emisión ó de erupción.

Ninguno de los dos tipos dominantes que acabamos de describir existe en la sierra de Pachuca; y en su conjunto, las rocas que la constituyen se ven aparentemente revueltas ó mezcladas con bastante desorden, y no obstante la constancia y el papel predominante que en la constitución de la sierra desempeña el tipo andesítico, se descubre en todas ellas una serie de modificaciones que diferencían á un tipo de otro sin que en esto haya regularidad ni en el sentido vertical ni en el horizontal; podríamos, para dar una idea clara, comparar el conjunto de rocas andesíticas como se presentan en la actualidad, al resultado de la consolidación de una parte fluida que, aparentemente uniforme en su masa, es de composición diferente ó de una heterogeneidad relativa en distintos puntos de ella, y que mezclada mecánicamente al enfriarse hubiera venido á dar en distintas partes de su volumen, tipos de estructura variada aunque íntimamente ligados por transiciones insensibles unos con otros.

Es por esta heterogeneidad de estructura y por los fenómenos de alteración, descomposición y desintegración de la roca en sus distintos aspectos de estructura, que tales rocas presentan ese aspecto abigarrado que comunica dicha alteración.

Una ligera inspección de la sierra siguiéndola de N. á S. nos enseña: primero, que las rocas andesíticas en sus diversos aspectos de estructura ocupan la parte septentrional y se encuentran á alturas diferentes quedando completamente descubiertas; mas hacia el centro de la sierra las rocas andesíticas se hallan cubiertas por las rhyolíticas y hacia el extremo están á su vez las

rhyolitas cubiertas por las rocas basálticas. El basalto en la parte céntrica aparece bajo la forma de diques, miéntras en el extremo se conservan todavía los aparatos crateriformes que les dieron nacimiento. Esta disposición de las rocas y esta modificación que las liga de N. á S. con rocas de origen muy reciente hasta terminar con volcanes perfectamente conservados, nos autoriza para aceptar como probable el origen volcánico para la sierra de Pachuca que debió haberse formado por erupciones que se sucedían á lo largo de una grieta preexistente, pero en la cual la chimenea volcánica se desalojaba de N. á S. La circunstancia de que las brechas ígneas no existen intercaladas entre las andesitas y las rhyolitas, es una prueba de que la aparición de las últimas fué inmediatamente á continuación de la aparición de las andesitas, y la existencia de poderosos depósitos de tobas y de brechas que cubren á las rhyolitas y son cubiertas á su vez por los basaltos, depósitos que á su vez han sido todos acarreados por erosión en la parte septentrional y céntrica de la sierra, nos sirven para establecer en la historia de la formación de la sierra tres períodos: uno de erupciones básicas andesíticas que termina con erupciones rhyolíticas, otro de erupciones de tobas y cenizas que inicia un período de tranquilidad durante el cual se depositan las tobas rhyolíticas en todas las depresiones y pequeños valles de la sierra, y finalmente un período de erupción basáltica que se continúa con el volcanismo del Cuaternario en toda esta región.

Expuestas ya en sucinto estas ideas generales, debemos consagrar nuestros esfuerzos exclusivamente á tratar de explicar la sucesión de las diversas rocas eruptivas.

Por más que exista una grande variedad en el aspecto macroscópico de estas rocas, como ya lo hemos hecho notar, se pueden referir todas ellas á tres tipos distintos: las andesitas, las rhyolitas y los basaltos; definiendo tres etapas sucesivas, tres períodos de actividad volcánica suceptibles los dos últimos de producir sobre el primero fenómenos que han contribuído á imprimir á la sierra su importancia.

La más grande variedad de aspecto ha tenido lugar en las andesitas, que de vítreas pasan á casi holocristalinas, variando constantemente y entre muy extensos límites la proporción de los elementos minerales constituyentes, juntamente con la intervención ó ausencia del cuarzo como parte integrante de la roca, en caso de existir como elemento primordial, no tomando desde luego en cuenta la sílice de formación inmediata. Pero como quiera que á la profundidad las rocas andesíticas llegan á tener en todas partes una completa semejanza, hay lugar á pensar que las modificaciones de aspecto son casi del exclusivo dominio de la superficie y referir la modificación á la intervención de los agentes atmosféricos obrando con desigual energía sobre rocas cuya compacidad, rapidez de enfriamiento, distancia al foco de emisión, presión y otras circunstancias múltiples las colocaban en diferentes condiciones al quedar sujetas á esta acción. Por su parte, la diferencia en la composición del magma, dentro de los límites de la proporción relativa de los elementos que

aún á la profundidad se nota, contribuyen á esclarecer los efectos de la variación.

Para poder precisar con más pruebas el origen común de todas las variedades andesíticas de la sierra de Pachuca, bastaría encontrar cierta constancia en la composición química de las rocas del mismo tipo petrográfico aunque de mayor variación macroscópica, lo que en efecto demostramos con los análisis hechos en el laboratorio del Instituto por los Sres. Ingenieros P. C. Sánchez y M. Rangel.

Por los análisis se ve que la sosa y la cal varían poco en cantidad, que para las andesitas simples la sílice está casi en la misma cantidad, presentándose en exceso en las dacitas. El fierro es uno de los elementos más variables pues que la cantidad que se encuentra en el magma es muy variable, haciendo notar que en la roca negra y compacta es en la que se encuentra en mayor abundancia.

Es pues de notar por estos datos, que la variación tan sólo reside en las condiciones físicas de un solo magma diferenciado por acciones diversas y la importancia más ó menos grande de una modificación superficial ó por agentes atmosféricos.

Un hecho muy característico es la presencia de las andesitas muy cuarcíferas (dacitas), en la parte alta de las montañas formadas de andesita de piroxena, como en el cerro de San Cristóbal, en el cerro al N. de la mina de San Rafael, Peña de Buenavista, etc., en la región de Pachuca y otros puntos diversos de la sierra como en la cima de los Organos de Actopan, algunos cerros de Real del Monte y el Chico, etc. Esta circunstancia sugiere la idea de corrientes sucesivas en las cuales las últimas de andesitas, es decir, las más elevadas, comenzaban ya á traer el aumento de sílice que caracterizó las erupciones siguientes, esto es, el período de erupción rhyolítica; pero no habiendo contraste entre las andesitas cuarcíferas y las otras y sí transición insensible, es más de aceptarse la segregación en la parte más elevada de la masa más cuarcífera. En este fenómeno de rocas en parte silicificadas no tomamos en cuenta las rocas igualmente cargadas de sílice de la vecindad de las vetas, pues ya dijimos que esta sílice tiene la misma procedencia que el cuarzo de las vetas.

El espacio ocupado en la sierra por las andesitas solamente comprendió desde el macizo de los Organos, donde adquirió una extensión considerable y una grande altura (2,977^{m}10) sobre el mar, hasta las montañas de Real del Monte, igualmente con una grande altura, es decir, en una longitud de 29 kilómetros, pues más hacia el S. E. solamente se presenta ya cerca del extremo de la sierra de una manera esporádica y cubierta en una grande extensión por las rhyolitas.

La manera como debieron aparecer las andesitas así como también las rhyolitas parece haber sido, dadas las condiciones en que ahora se encuentran, por bocas sucesivas abiertas en grietas según una dirección, que daban lugar no solo á rocas porfiroides y compactas, sino también á productos cine-

ríticos, tobas, brechas, etc., cuya extensión es ahora muy limitada, por lo menos para productos que acompañaron á las andesitas, pues es indudable que fueron fácilmente substraídas por una activa erosión.

Esta teoría que define las erupciones por grietas sucesivamente abiertas, es en cierto modo análoga á la que adoptan algunos geólogos americanos para explicar la formación de una parte de las montañas Rocallosas en América con especialidad del Distrito de Washoe.[1]

Estas erupciones sucesivas de rocas andesíticas cuya proporción de sílice aumentaba en las últimas erupciones, terminaban con la producción de tobas andesíticas y brechas ígneas que cubrieron grandes superficies de las montañas así formadas; material detrítico que se depositaba en lechos que más ó menos se aproximan á la horizontal, que prontamente fué sufriendo el transporte que su fácil desintegración permitía, logrando este trabajo hacer desaparecer, casi por completo, esta cubierta que solamente pudo conservarse en los lugares que por su situación topográfica ó por su configuración estaban sujetos á un trabajo mucho menos enérgico. Esto es, en efecto, lo que se verifica en la mesa que corona el cerro en que se encuentra la mina de San Pedro, cerca de Pachuca, y en los bordes de la barranca de Texinca, donde se ven aún capas de brechas ígneas en delgados lechos sobrepuestos, apoyándose directamente sobre las andesitas. Estas mismas capas se encuentran en algunos otros lugares, como en la cuesta de la Cruz de los Ciegos, cerro del Lobo, etc., y en algunas faldas de las montañas del Real del Monte.

Muy poco puede decirse acerca del tiempo de reposo que sucedió al finalizar las erupciones andesíticas y después de su completa consolidación. Solamente se demuestra que el trabajo de erosión comenzaba á modificar el relieve de las montañas ya formadas y se verificaba sobre las andesitas la profunda alteración atmosférica de estas rocas, cuando súbitamente la región se encontró de nuevo sometida á nuevas manifestaciones volcánicas, consecuencia de esfuerzos dinámicos muy enérgicos aunque de menor importancia, á juzgar por el volumen del material eyectado.

Las mismas grietas qne permitieron la salida de las andesitas constituían líneas de menor resistencia, en las cuales, por diversos puntos y con extensión diversa, se rompe la cubierta bruscamente dando lugar durante esta ruptura parcial á la formación de una enorme masa de brechas andesíticas que forzosamente ocuparon la parte culminante de la sierra. Para dar alguna idea de este rompimiento y de la importancia que tuvo, basta observar la enorme extensión que los productos de las erupciones ó sean las brechas andesíticas ígneas en la cresta de la sierra desde los cerros de Capula hasta la Peña del Zumate en Real del Monte; es decir, una longitud de poco más de 12 kilómetros, una anchura variable entre 2 y 6 kilómetros y un espesor superior á 400 metros. Ya hemos hablado de las formas variadas que ofrecen por trabajo de denudación estas brechas y que tanta belleza dan á la cresta de la

1 Entre otros Mr. Church "The Comstock Lode."—1879 pag. 154.

sierra como las Ventanas y Monjas del Chico, la Peña del Zumate y las otras agujas, picachos, etc., que coronan la sierra.

Naturalmente, en contacto con este material arrancado bruscamente en el lugar ó lugares donde se verificaba la reapertura, habían de presentarse los nuevos productos de erupción, y esto es lo que demuestran los gruesos y sucesivos bancos de rhyolitas que se extienden en la vertiente occidental de la parte de la sierra entre Pachuca, Real del Monte y El Chico en una grande extensión.

En las montañas al N. de la mina del Bordo y del pueblo de Cerezo, se pueden observar fácilmente los numerosos bancos de rhyolitas, sobrepuestos y escalonados, tanto por su menor extensión superficial como por la acción de denudación. Las rhyolitas de esta región tienen una notable semejanza en su color, composición y estructura, presentando ahora tan sólo diferencias por alteración superficial. Las rhyolitas, casi de la misma época, que se encuentran cerca del Real del Monte, son un poco diferentes de las de Cerezo por su menor cristalinidad, y aquí también ocupan la parte superior de las montañas, como se puede notar en las Peñas del Aguila, Peña del Gato, etc, que forman con el Zumate los puntos culminantes de la sierra en aquella región.

Durante estos movimientos de reapertura de grietas en la masa misma de las andesitas y la expulsión de lavas silizosas, tiene lugar en las regiones vecinas á las rhyolitas la formación de grietas de menor importancia que produjeron un sistema de fracturas principal, en dirección casi paralela á las grietas de emisión de lavas, y grietas secundarias que parten de los primeros, produciéndose así una división en blocks paralelipipédicos en grandes tramos de la sierra. Este fenómeno se produjo con desigual energía en ambos lados de la sierra. Así tenemos, del lado occidental, el sistema de fracturas de Pachuca casi ligado al de Sta. Rosa y Tepenené, y al O., el del Chico, igualmente unido casi al sistema de Real del Monte, habiendo por otro lado entre todos ellos la más estrecha relación. Pero estos sistemas de fracturas están muy lejos de ofrecer la simplicidad que en apariencia les damos al referirlos al fenómeno volcánico; muy al contrario, habremos de poner á contribución nuevos datos y observaciones que completen el estudio de estas complicadas redes, trabajo que por otra parte para el sistema de Pachuca constituye un capítulo especial de esta Memoria.

La acción volcánica que dió origen á la vasta formación rhyolítica de Pachuca y El Chico se clausura con dos fenómenos conexos sumamente frecuentes, si no indispensables en toda erupción volcánica, á saber: la aparición de material detrítico, una verdadera erupción cinerítica, y la formación en la superficie de fumarolas y la circulación de aguas termo-minerales en las grietas profundas ya formadas. Estas dos clases de fenómenos íntimamente ligados en Pachuca dan lugar: el primero á tobas rhyolíticas en lechos que alternan en la parte superior con capas de la misma toba sumamente impregnada de sílice, ya bajo la forma de cuarzo cristalino ó bien de piedra córnea y que caracterizan las canteras de donde se saca piedra de construcción cerca de

Real del Monte, cuyo carácter y condiciones de formación hemos descrito en otra parte de este trabajo.

El segundo fenómeno, el más interesante, es el depósito silizoso bajo la forma de cuarzo exclusivamente acompañado de sulfuros minerales en las grietas del suelo, dando lugar á la enorme riqueza de metales preciosos que en parte han sido extraídos de estas regiones. [1]

Establecidas ya definitivamente las condiciones que facilitaron el relleno de las fracturas y terminada toda manifestación volcánica en relación con las rhyolitas, viene un largo período de tranquilidad relativa en el que sólo se verifican lentos movimientos, necesarios para alcanzar el equilibrio definitivo en una región que había sido tan profundamente trastornada por movimientos sucesivos de diferente duración y de intensidad diversa.

El período de erupciones volcánicas cuyas manifestaciones hemos visto al hablar de las rocas eruptivas de Pachuca, parece haber dado comienzo desde á mediados del Terciario y haber sido motivado por el plegamiento de los grandes depósitos cretáceos del país, que se verificaba cuando tenía lugar la formación de todos los rasgos orográficos del continente en esta porción, así como á consecuencia de los movimientos que experimentaba el país desde al terminar el período cretáceo, movimientos que se verificaban con máxima intensidad en la porción occidental y N. W. del país, siendo así que en la parte N. E. estos movimientos eran sumamente débiles y las aguas del Golfo de México no dejaban completamente en seco los terrenos que más tarde habían de ser conquistados al océano, sino que aguas marinas de poco fondo y zonas costeras de invasión, naturalmente de aguas salobres, y de formación de estuarios de más ó menos importancia, continuaban por ese rumbo depositando sedimentos más modernos correspondientes al período terciario, cuando ya la porción occidental y á continuación la central del país no sólo habían salido del seno de las aguas del mar, sino que prestando su contingente para los detalles del relieve y las formas del terreno al cerrar cuencas recientemente formadas y al preparar la salida que había de contribuir al drenaje de otras cuencas anteriores, preparaban las formas topográficas y geográficas del suelo mexicano que definitivamente vinieron á quedar constituídas durante el período pleistoceno.

Una rápida ojeada sobre una carta geológica del país (Boletín 4, 5 y 6) muestra los numerosos lugares inmediatos á la sierra de Pachuca, sierra de Las Cruces y demás elementos orográficos del centro del país, en donde se encuentran depósitos cretáceos de naturaleza petrográfica más ó menos variada, todos dislocados, muy plegados y en contacto inmediato con estas rocas eruptivas; siendo muchos los lugares en los cuales se ven estas rocas eruptivas sobrepuestas directamente á las calizas cretáceas. Para no citar sino aquellos puntos más próximos á la sierra de que nos ocupamos y á la cual indudablemente se ha extendido en su acción las causas genéticas de la sierra de Pa-

1 Véase Teoría de la formación de las vetas.

chuca, mencionaremos en la vertiente oriental de la sierra, los depósitos cretáceos de Yolo, Hacienda de Vaquerías, río de Amajac, Sierra del Zoquital y las montañas de la proximidad de Zacualtipán, por el extremo N. las montañas de Ixmiquilpan. En la vertiente oriental encontramos las montañas de Mixquiahuala, Rincón de Guadalupe y las de Bata y Apaxco un poco más allá de los límites de la cuenca de México.

Por el S. vemos cómo las corrientes de lava del Popocatepetl descansan casi sobre los sedimentos cretáceos en Yautepec y en otros muchos lugares.

El origen de estos plegamientos que abarcaron una extensión, se puede decir continental, no es materia que abarca los límites de este capítulo, baste decir que á un fenómeno de este género se debe la formación de la sierra de Pachuca por el hecho de ofrecerse en contacto las rocas eruptivas de este macizo con sedimentos cretáceos y ocupando el espacio de una gran dislocación. Desde luego, la prolongada sierra de Tenancingo y Tenango con sus ramales occidentales y dependencias, se halla orientada casi paralelamente á la sierra de Pachuca; sus estratos prolongados en dirección N.W.–S.E. han sido forzosamente plegados también según esa direceión por fuerzas que les han sido normales, definiendo así una serie escalonada de pliegues que se suceden según la dirección normal. Esto es lo que tiene lugar y así lo hemos observado en las grandes cortaduras de la Barranca Grande y de Regla en el valle de Tulancingo.

Los estratos cretáceos, quizá de la división superior del sistema, se prolongan así plegados y más ó menos desgastados por erosión y cubiertos por depósitos recientes y pliocenos ó por corrientes de lavas basálticas, hasta el contacto con las rocas eruptivas de la sierra, como se puede observar fácilmente en varios puntos del cauce del río de Velasco y de Amajac.

En cuanto á lo que se observa en el lado opuesto de la sierra, es decir, frente á su vertiente occidental, el Cretáceo Medio se presenta con gran espesor representado por las calizas de Nerineas y de Hippurites de Tula, Rincón de Guadalupe, Apaxco y Mixquiahuala, ocultas en la base misma de la sierra por los inmensos depósitos volcánicos de la cuenca de México y del valle de Actopan. Se puede demostrar por otra parte que la dirección media de las capas y sus pliegues es casi paralela á la sierra de Pachuca. En ambos lados pues, las rocas de esta sierra se hallan en contacto con sedimentos cretáceos de gran espesor: por un lado el Cretáceo Medio, calizas fétidas en estratos de gran espesor, y del lado opuesto pizarras y areniscas calcáreas en las capas más superficiales, pizarras calizas y arcillosas del Cretáceo superior, dotadas en general de mayor elasticidad y plasticidad al plegamiento. Hay por consiguiente diferencia de espesor en los sedimentos cretáceos de ambos lados de la sierra y diferencias de elasticidad por estructura y naturaleza petrográfica, y esto debió producir á no dudarlo un desequilibrio durante el plegamiento que dió margen á una gran dislocación; una superficie de menor resistencia, una gran fractura á través de la cual pudo haberse abierto camino el material volcánico fuertemente comprimido de la región infrayacente. Es-

ta es en nuestro concepto una fácil explicación y que se adapta muy bien con los hechos observados. Pero en ambos lados del contacto de las rocas eruptivas y los sedimentos han quedado líneas permanentes de menor resistencia y de ruptura, lo mismo que en el extremo S.E. de la sierra, por las que han debido presentarse de una manera sucesiva las lavas basálticas y labradoríticas que se han proseguido desde el Plioceno, desde lavas de estructura columnar como las de Regla, hasta las erupciones de basalto casi contemporáneas del Tecajete y sus vecinos, arrojando lavas menos fluidas.

La semejanza petrográfica que existe entre las rocas eruptivas de la sierra de Pachuca con aquellas de nuestras regiones mineras distribuídas en todo el territorio, hace creer que durante la formación de las montañas de Pachuca el fenómeno volcánico se repetía de una manera simultánea ó sucesiva afectando una extensión, se puede decir continental, propagado más allá de las fronteras mexicanas, retardando unas veces ó adelantando su acción otras, pues no es posible todavía fijar en el estado actual de nuestros conocimientos la absoluta correlación. Sin embargo, la homología de los tipos petrográficos, la uniformidad casi constante de la sucesión, podrán servir algún día para establecer quizá, no sólo la orogenia sino también la contemporaneidad de gran número de macizos eruptivos muy diseminados en el país, así como también en Norte América.



IV

LAS VETAS.

LAS VETAS.

Un solo sistema de fracturas presenta la región del Distrito de Pachuca, sistema que sigue en general una dirección próxima de E. á W., y de las fracturas principales se desprenden otras secundarias bajo ángulos que no exceden en general de 30°. De esta manera se define esa importante red que ha venido á ser posteriormente llenada por los depósitos minerales. Tan uniforme como es la región considerada bajo el punto de vista geológico, así son sus depósitos minerales que, en general, afectan la misma estructura modificada y diferenciada por movimientos y accidentes posteriores al relleno metalífero. Los criaderos argentíferos de Hungría ó los de Comstock en Nevada, á los que se ha comparado algunas veces el tipo de nuestros filones de Pachuca, son más complexos en general, tanto en las formaciones geológicas, como en la variedad de sus minerales; variación sensible cuando como en Schemnitz se estudian filones empotrados en dos rocas distintas, como si la estructura y naturaleza de la roca tuviese relación con el relleno del filón en ella formado. En todas las vetas de Pachuca domina, esencialmente en el relleno, el cuarzo bajo formas diversas, y siendo el origen de las fracturas dependiente del fenómeno orogénico, nos hallamos en presencia de criaderos filonianos de relleno cuarzoso.[1]

Las fracturas de este sistema se hallan reunidas formando cuatro grupos principales que se ligan naturalmente los unos á los otros. Cada uno de estos grupos se caracteriza por la presencia de una veta principal y sus ramales ó vetas secundarias de menos importancia que siguen una dirección paralela á la de la principal. Estos grupos son: el de la fractura de la veta Vizcaina, el de la del Cristo, el de la fractura de Analcos y el grupo de vetas de la región de Santa Gertrudis.

Existe además otra fractura importante que es la conocida con el nombre de Polo Norte, la más elevada del sistema y que ocupa la región más septentrional del Distrito.

1 De Launay.—Gîtes metalifères.

Las vetas de Pachuca se caracterizan en general más por su constancia en el rumbo que por su potencia, que raras veces alcanza 7 metros, como en la veta Vizcaina, que ha sido siempre considerada como el filón principal ó veta madre. Su longitud, considerada desde su extremo visible al W. en la barranca de los Leones en la falda N.W. del cerro de San Cristóbal, se prolonga al E. más allá de la cresta principal de la Sierra de Pachuca y corta los flancos orientales de la misma formando también el filón principal del Real del Monte, y puede estimarse aproximadamente en unos 16 kilómetros.

La veta del Cristo seguida en una longitud de 4 kilómetros, es ocultada por las labradoritas del cerro de San Cristóbal. La veta de los Analcos la hemos levantado en un tramo de 6 kilómetros; pero indudablemente se prolonga más, pues se oculta por el W. debajo de las tobas volcánicas del valle de San Bartolo, y se prolonga con poca claridad más allá de la mina de Dolores Tezón, teniendo del punto en que se oculta debajo de las rocas basálticas de San Cristóbal á la mina antes mencionada, una longitud de 4 kilómetros, no considerando el tramo de la cima de San Cristóbal al valle de San Bartolo por no ofrecerse claramente en la prolongación, pues es indudable que ha sido cortada por dichas rocas basálticas. Esta misma veta se oculta en un tramo pequeño en las tobas volcánicas amarillas y brechas de pomez cerca de la mina de San Pedro.

Respecto á las vetas de la región de Sta. Gertrudis, no es fácil seguirlas sobre el terreno en bastante longitud por hallarse frecuentemente cubiertas por las tobas volcánicas que rellenan la depresión del vallecito de Santa Gertrudis.

Lo primero que llama la atención al reconocer superficialmente el terreno, es su descomposición profunda en la proximidad de cada veta, modificación que ya hemos mencionado y que depende por una parte de la silicificación de la roca por la propia sílice de la veta; pero la modificación de que se trata y que afecta solamente la superficie, es una alteración atmosférica, una oxidación que la hace pasar de los variados matices del verde á un amarillo pardusco por la descomposición del fierro oxidulado de la roca y de los silicatos ferromagnesianos á óxido hídratado de fierro que contribuyen por su parte á desagregar y á dividir la roca en fragmentos pequeños paralelipipédicos y tierras amarillentas. A esta alteración ha contribuído en gran parte la oxidación de las piritas que casi constantemente impregnan á las rocas en la proximidad de las vetas en casi todas las profundidades conocidas en Pachuca.

Los crestones de las vetas, á veces, sobresalen de la superficie del terreno quedando algunos decímetros arriba; teniendo lugar este caso, como es natural, para crestones de cuarzo compacto desprovistos en general de piritas y por consiguiente de material de oxidación; así ofrecen estos crestones salientes un color notablemente blanco que contrasta con el color amarillento pardusco del suelo. Como tipo de crestones salientes podremos mencionar el de la veta de Corteza que se puede ver fácilmente desde lejos cortando por su

medio el cerro de Santa Apolonia; varios tramos de la veta de los Analcos, del Cristo, de Maravillas, del Fresnillo y de Guadalupe. Los tramos cuarzosos cargados de óxidos amarillos de fierro son menos salientes por regla general, pues esto mismo ha servido para facilitar la desagregación del cuarzo, y es sobre estas porciones como sobre aquellas en las que se presentan los óxidos negros manganosos donde se han encontrado las riquezas superficiales de minerales argentíferos con ley de oro bastante costeable, como lo demuestran los trabajos á cielo abierto arriba del socavón de San Cristóbal, sobre la veta de los Analcos, los grandes comidos de la mina de Calderona, la Grande y Encino, sobre la veta del Cristo y sobre la de Rejona. Hay que notar que sobre estas porciones superficiales enriquecidas tuvieron lugar las primeras bonanzas de Pachuca en los primeros días de su explotación.

Otras veces los crestones salientes se componen de cintas de cuarzo puro alternando con cintas de roca de color generalmente rojizo fuertemente cargadas de sílice, y por difícil que sea precisar su primitiva estructura y composición por la impregnación cuarzosa, el estudio petrográfico de la roca demuestra que su naturaleza es la misma que la de la roca de los respaldos, andesita de piroxena que llega á adquirir por la acción hidrotermal la composición y aspecto de una rhyolita, caso que igualmente se presenta en los filones de Schemnitz.

Aparte de estos tres distintos aspectos que, por ejemplo, ofrece el filón de los Analcos, hay que mencionar la presencia de la calcita en cintas alternando con el cuarzo en el crestón cerca de la mina de Dolores Tezón, único caso en que la calcita entra como componente del crestón en cantidad considerable en las vetas de este Distrito.

Los accidentes topográficos variados de esta región han facilitado la ocultación de los crestones en los lugares donde por consecuencia de la débil pendiente, se ha verificado la acumulación del material detrítico por los deslaves de las aguas de lluvia. Este caso tiene lugar frecuentemente en las laderas tendidas que sirven de base á altas montañas, como aquellas que mueren en la barranca de Rosario y que ocultan en una grande extensión la veta Vizcaina, ó en las mesetas que coronan algunos cerros elevados como sucede en la meseta del cerro donde se halla la mina de San Pedro, donde ocultan las tierras arables á un gran número de angostas vetas, y en parte á la veta de los Analcos. En este caso el crestón se puede reconocer por la coloración que comunica á las tierras la oxidación de sus piritas, á la vez que por un gran número de fragmentos pequeños de cuarzo diseminado en las tierras.

Más constante en su aspecto, se presenta en la superficie la veta de la Vizcaina, la que impropiamente se ha denominado crestón, pues no sobresale nada de la superficie. Se pasa insensiblemente de la roca muy alterada á la veta, la que se compone en general de tierras arcillosas amarillas alternando á veces con cintas angostas de cuarzo reducido á pequeños fragmentos y teñido de amarillo, delgados hilos de carbonato de cal y masas arcillosas de color verde amarillento, en las que se reconoce todavía su procedencia de la

roca de los respaldos teniendo todas las arcillas la misma procedencia. Algunas veces la estructura es brechiforme y desagregable, lo que indica casi un relleno superficial contemporáneo. En pocos puntos, como ya dijimos, se descubre claramente la Vizcaina si no es en pequeñas catas de reconocimiento, como se ve entre el tiro de la Soledad y de San Rafael, ó en algunos pequeños barrancos como cerca de la mina de Sto. Tomás Apostol. Es aun menos visible la veta Vizcaina en la región de Real del Monte á causa de la abundante vegetación y el grueso depósito de tierra vegetal.

El mismo aspecto ofrecen las partes superficiales de las vetas que quedan al N. de la Vizcaina, tales son sus ramales de Quintanilla y Cristóbal Colón, la poco definida veta de Sta. Úrsula y las vetas de Enmedio y Polo Norte, siendo esta última la más septentrional del Distrito, cerca de las dacitas y rhyolitas que coronan la cresta de la Sierra.

Los crestones poco cuarzosos como el de la Vizcaina, contienen sus riquezas á profundidad; hecho que si no es de una constancia absoluta, sí acontece de una manera general, y lo prueba este filón que ha venido á ser explotado con trabajos importantes en Pachuca hasta estos últimos años en que, agotadas las riquezas superficiales, se ha vuelto la atención á aquellas vetas, que aunque potentes no ofrecían leyes costeables en la superficie. A estas zonas de riqueza profunda se deben las últimas bonanzas de Pachuca, desde la del año de 1850 del Rosario á la actual de San Rafael, en la Vizcaina y Analcos respectivamente, y la de Santa Gertrudis y Barron en la veta de Santa Gertrudis.

En resumen: los crestones de las vetas de Pachuca se componen en su mayor parte de cuarzo blanco lechoso, óxidos ferruginosos, cintas y pegaduras de óxidos negros de manganeso, roca de los respaldos impregnada de sílice, arcillas ferruginosas y arcillas verdes, producto de descomposición de estas rocas, y raras veces el carbonato de cal en abundancia. Salvo raros casos, el aspecto y composición de un crestón es variable de un lugar á otro.

En cuanto á la potencia de los crestones se puede decir que es muy variable, siendo las fracturas paralelas á la de Vizcaina las que ofrecen mayor potencia. Raras veces un ramal tiene la misma potencia que el filón de que se desprende.

En los crestones cuarzosos se hace visible claramente su potencia por el contraste de ellos con la roca empotrante. El crestón de Valenciana varía entre $0^{m}.60$ y 3 metros; el de los Analcos entre $1^{m}.20$ y 6 metros; el del Cristo entre 1 y 5 metros. La potencia de la veta Vizcaina es difícil precisarla pero hay lugares en que excede de 8 metros y hay otros en que claramente definida la veta está separada en varios ramales, como sucede cerca de Santo Tomás.

Hay crestones que se separan en dos gruesos brazos que se juntan después, quedando en su medio empotrada una lente de roca casi siempre muy cargada de sílice como se ve claramente en el crestón cuarzoso de la veta de Rosario Viejo, en la veta de Maravillas entre el tiro de San Buenaventura y Pa-

bellón, en la veta de Valenciana, etc.; pero esta forma lenticular de dos brazos de un filón es muy clara por la extensión de la bifurcación y la separación é importancia de las partes momentáneamente separadas, en el arco que define la llamada veta de Fresnillo y que se observa fácilmente en el plano del sistema de vetas que se acompaña. Los demás casos no se han marcado en dicho plano porque desaparecen á la escala.

En esta separación de una veta en dos brazos (ramificación en arco) que se vuelven á juntar después, el uno conserva la dirección general, en tanto que el otro afecta la forma de un arco de círculo de gran radio. La veta de Fresnillo es el mejor ejemplo.

Estos accidentes de los crestones no siempre se conservan á profundidad, así como algunas bifurcaciones y lentes profundas no se manifiestan en la superficie. Lo mismo sucede en lo relativo á espesores; una veta de poco espesor se hace robusta á profundidad, como la veta del Cristo en pertenencias del Encino, que muy angosta en el exterior, dió á alguna profundidad una gran bonanza en un cuerpo robusto.

Los cambios en la dirección del crestón según su rumbo son en general muy pequeños, salvo en raros casos muy marcados. El cambio brusco de rumbo del crestón de la veta del Cristo en las pertenencias del Encino hizo sospechar que se trataba de otra veta y se emprendieron trabajos de investigación en busca de aquella. En el sistema de vetas paralelas á la Vizcaina ó en las vetas principales, se advierte una ligera inflexión al S.E. que se acentúa hacia el S., no por más fuerte inflexión, sino por el rumbo general, como se ve en el plano para las vetas de Valenciana, Corteza y la de Santa Gertrudis.

Forma de fracturas.—El sistema de fracturas del Distrito de Pachuca es único, orientado en general de E. á W. y compuesto de una serie de fracturas más ó menos paralelas ligadas las unas á las otras por ramificaciones diagonales. El carácter propio de toda ramificación es de nunca cruzar á las vetas que liga, sino simplemente el de encontrarlas, caso general para sistemas de filones paralelos.[1] Muchas veces dos ramificaciones diagonales se desprenden casi del mismo punto de la veta para dirigirse en sentido opuesto y parece ser aparentemente uno la prolongación del otro; esta circunstancia ha motivado la creencia de que se trata de un cruzamiento de vetas, y así lo suponen algunos mineros de la localidad, dando muchas veces lugar á serios equívocos, pues un examen detenido demuestra que nunca se ha presentado un solo caso de este género, que es la consecuencia misma del modo de formación de las fracturas, como ya lo hemos estudiado.

Las variaciones y ondulaciones en el sentido del echado y en el del rumbo que se observan en los crestones, se realizan también en la profundidad, en donde se ve en las grandes explotaciones la forma curva de los respaldos. Lo que no se verifica con tanta frecuencia en la superficie como en el interior,

1. V. Grodeck, Gîtes metallifères pg. 60.

son las ramificaciones arqueadas, las cuales se encuentran en casi todas las minas de Pachuca.

Estas ramificaciones son simples, es decir, que se presentan una vez, ó se hacen sucesivamente una tras otra. En el primero un brazo sufre la curvatura quedando el otro recto, mientras que en las bifurcaciones sucesivas las dos ramas sufren la desviación, quedando separadas por un caballo de forma lenticular.

Ya hemos hablado de la gran ramificación simple en arco de la veta de Fresnillo que se sigue en la profundidad.

Otros casos de simple ramificación arqueada los encontramos en la veta de Pabellón, siendo los dos brazos casi iguales en potencia. El caballo de roca está fuertemente impregnado de sílice.

En el 5º cañón de la misma mina se observa también un caso de ramificación sucesiva. En éste, el ramal del Sur es más importante por su potencia. En grandes tramos de la misma veta se tienen dos ramas que siguen trechos casi paralelos y separados tan sólo por un caballo de 1 metro á $2^{m}50$ de espesor. En la mina del Encino, la veta del Cristo sufre igual ramificación sucesiva, y el primer caso se presenta en las vetas de Calicanto, la Zorra, etc.

Sucede con frecuencia que en las porciones bifurcadas de las vetas, éstas se enriquecen lo mismo que en sus juntas, á diferencia del encuentro de las vetas distintas en que ó no varía su riqueza ó disminuye. Estos casos son muy generales pero no constituyen como veremos una ley.

De la veta de Maravillas se desprenden á veces delgadas vetillas casi normales á la veta principal y en grietas al parecer de contracción, rellenadas por cuarzo y sulfuros negros á veces sumamente ricos.

Las vetas principales de Pachuca sufren á veces una subdivisión en vetas casi radiantes de menor potencia que el cuerpo subdividido, algunas de las cuales terminan en cuña. Esta subdivisión coincide casi siempre con un empobrecimiento. Ejemplos: La veta Vizcaina en su extremo oriental en el límite del Distrito de Pachuca, claramente visible en la mina de Santo Tomás Apostol. La veta del Cristo en su lado oriental, visible en la mina del Encino, muy ramificada y estéril con ramales en cuña. Esta ramificación parece ser el límite de este interesante filón, pues en el punto correspondiente en la superficie estos ramales enteramente desaparecen. La veta de Calicanto, abajo de 220 metros de profundidad en la mina de San Francisco, sufre una notable subdivisión en hilos en un tramo completamente estéril dando la forma de la figura adjunta. De nuevo se reunen los distintos ramales ó hilillos para formar un solo cuerpo robusto.

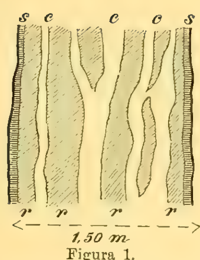


Figura 1.

s. s.—Cuarzo remolido y arcillas. (Salbanda).

r. r. r. r.—Roca de los respaldos. Andesita de piroxena.

c. c. c.—Cuarzo blanco estéril.

Terminados estos detalles generales de los crestones, pasemos al estudio de las partes profundas de las vetas, en todos los lugares que han estado en explotación durante nuestra permanencia en Pachuca; siendo de sentirse que el alza constante del nivel del agua en las minas desde la notable inundación iniciada en Noviembre de 1895, nos haya impedido el estudio de las labores más profundas de cada mina y comprobar las diferencias en la composición mineral de las vetas, ó averiguar si á la profundidad hasta ahora alcanzada en Pachuca se notan modificaciones que aparten la mineralización de la profundidad de la observada en los trabajos que se encuentran arriba del nivel actual del agua.

Composición y estructura de las vetas.—El conjunto de los criaderos minerales del Distrito de Pachuca presenta igualmente cierta uniformidad, tanto en la estructura como en su composición mineral, variando solamente en las proporciones relativas de las especies minerales, así como en la de las matrices.

La uniformidad en el echado de las vetas de este Distrito apoya también la idea de un solo sistema de fracturas, pues que las variaciones son de muy pequeña importancia. En efecto, las vetas tienen el echado al Sur, con ángulos que varían desde 65° hasta la vertical, pasando en algunos casos hasta alcanzar 10° al N. sobre la vertical en tramos cortos de la misma veta. Así por ejemplo, la Vizcaina tiene un fuerte echado al N. en casi toda su longitud conocida en la parte superior.

Dos zonas importantes de minerales hay lugar á considerar en Pachuca, que si bien no se presentan con absoluta constancia para constituir una regla general, sí las vemos con bastante frecuencia, y son: la zona de metales colorados y la zona de metales negros, caracterizada la primera por la presencia de abundantes óxidos de manganeso y algunos óxidos de fierro, y la segunda por los sulfuros negros. La primera zona ha sido en general más rica en oro que la segunda.

La profundidad hasta la cual se han encontrado los metales oxidados en cada mina ha sido muy variable y está en relación, como es natural, con el nivel hidrostático de los diferentes lugares.

Por consecuencia las vetas de riqueza superficial han dado bonanzas sobre metales colorados, y éste ha sido el secreto de su fácil tratamiento metalúrgico por amalgamación en el patio, desde los primeros tiempos de su aplicación, pues es indudable que en esos metales existieron los cloruros y bromuros de plata, á más de los sulfuros simples del mismo metal. Las bonanzas del Cristo y del Encino, la antigua de Maravillas y los grandes clavos de la parte superior de la mina de San Cristóbal, han sido casi exclusivamente sobre estos metales oxidados.

Hoy los trabajos de explotación se llevan en casi todo el Distrito sobre los metales negros, puesto que todos son trabajos más ó menos profundos, y á éstos son á los que dedicaremos exclusivamente nuestra atención, toda vez que no existen datos ciertos sobre la exacta composición de los primeros y no hay trabajos actuales en esta zona que nos proporcionen campo para el estudio.

Los modernos trabajos llevados á cabo en vetas como la Vizcaina y la de Sta. Gertrudis, que han dado grandes riquezas, han demostrado en estas vetas la ausencia casi completa de la zona superior.

Una verdadera incrustación ó concreción ha sido la marcha constante seguida en la formación de las vetas del Distrito, pero el aspecto concrecionado ha sido á veces modificado por movimientos posteriores que han dado origen á cambios de tal magnitud, que en muchos casos es difícil encontrar alguna huella de un depósito concrecionado. Estos movimientos posteriores al relleno, si bien han afectado á casi toda la región, no se perciben sino en tramos de las vetas. De todos es conocida la dureza variable de las vetas en relación con el estado intacto ó de desagregación á que han estado sometidas por la acción de estos movimientos, sin desconocer que también depende del carácter local de las matrices.

El relleno fundamental de las fracturas ha sido el cuarzo que durante su depósito no sólo se ha incrustado en las paredes de las grietas, sino que ha originado una especie de impregnación en la masa de la roca de los respaldos, engendrando una ligera variación en la estructura como ya ha sido mencionado, á la vez que una acción de metamorfismo y descomposición de los minerales componentes y con empastamiento, por decirlo así, en las pequeñas fracturas de la roca, que por efecto mismo de la apertura de la grieta principal se producían. Por esta causa la roca, en la proximidad de la veta, está atravesada por multitud de venillas de cuarzo en todas direcciones. En los trabajos de investigación esta circunstancia es tomada como indicante de la proximidad de una veta; tan constante es la silicificación de la roca en la proximidad de éstas.

El cuarzo es en general compacto, blanco lechoso, raras veces hialino y de un aspecto característico; algunas veces las primeras cintas pegadas á los respaldos tienen la estructura de la calcedonia; en muy raros casos el cuarzo adquiere un ligero tinte verdoso. En las vetas de Pabellón y Valenciana, del Cristo, y accidentalmente en otras, se encuentra el cuarzo ametista en cristales agrupados radiantes alternando con cintas de cuarzo blanco. En las vetas antes mencionadas la ametista es más abundante en la parte superior de la veta; á medida que se profundizaron los trabajos de Pabellón ha sido más escasa, aunque casualmente se encuentra en abundancia á la profundidad.

En el cañón de Guadalupe en la mina del Cristo y en la labor de San Pedro de la misma mina se presenta el cuarzo ametista en cintas alternando con el mineral.

En la mina de Pabellón, sobre la cinta de cuarzo ametista en donde ha podido cristalizar y donde quedan pequeñas grietas ó geodas, se ve la dolomia

desarrollarse en pequeños cristales de lustre de nacar, como igualmente se presenta en la mina del Rosario sobre el cuarzo blanco hialino.

En algunos crestones hemos encontrado el cuarzo cariado, y el hialino y cristalizado solamente en cavidades enmedio de la veta ó en geodas abiertas en la roca de los respaldos. Geodas con hermosos cristales se han presentado en San Cristóbal y en la mina del Rosario.

Cerca del tiro de Rejona, en la veta del mismo nombre, se encuentran hermosas cintas de cuarzo ametista en cristales agrupados de intenso color.

En la mina de Santa Ana, sobre la veta Vizcaina, parece que la calcita va disminuyendo á la profundidad, pues se nota en las labores superiores, y en los labrados más profundos casi desaparece. También en la mina del Encino, en vetas como la del Altar ó en la del Cristo, la calcita de la veta va disminuyendo á profundidad á medida que el cuarzo aumenta. En esta veta también hay algo de ametista.

Este primer elemento del relleno de las vetas ha acompañado en unos casos y en otros ha seguido á la venida de los sulfuros negros, especialmente la argentita que se mezcla tan íntimamente al cuarzo que es imposible separarlos; ya simplemente este sulfuro y la galena manchan al cuarzo en puntos y en moscas, ó ya se encuentran dispuestos en cintas de cuarzo y sulfuros. A la primera forma que da lugar á metales generalmente pobres, se les designa con el nombre de azogues por los mineros de Pachuca.

Esta disposición en cintas alternadas de cuarzo y mineral, definiendo claramente la estructura concrecionada, se observa muy bien en las labores de San Pedro de la mina del Cristo, como lo manifiesta el corte adjunto, figura 2.

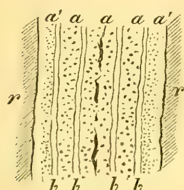


Figura 2.

a.—Cintas de cuarzo y mineral (Azogues).

a'.—Cintas de cuarzo y mineral (Azogues) empobreciéndose hacia los respaldos.

b.—Cintas angostas de cuarzo puro.

Este es un caso que manifiesta una notable regularidad en el depósito concrecionado y en el que la separación de unas y otras cintas es muy clara; el cuarzo *b* es más hialino que el cuarzo *a*.

En la mina de Santa Ana, sobre la veta Vizcaina, el depósito mineral se aisla claramente del depósito de cuarzo como si fuera posterior, y en este caso la estructura en bandas se complica con venillas de cuarzo que hacen más irregular su distribución, como lo muestra la figura 3.

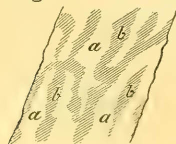


Figura 3.

a.—Cuarzo puro.

b.—Cintas de sulfuros negros.

Los sulfuros *b* son generalmente galena, argentita y sulfo-antimoniuros escasos.

Con el cuarzo *a* viene generalmente un poco de caliza.

Este corte está tomado de la profundidad de 160 metros.

Es característico en todas las vetas la existencia de fragmentos de la roca de los respaldos á todas las profundidades á que hemos examinado dichas

vetas, fragmentos que se presentan de todas dimensiones, más ó menos angulosos pero de aristas romas. La concreción del cuarzo y de los sulfuros tiene lugar alrededor de cada fragmento, los que se hallan diseminados en el cuerpo de la veta sin que se toquen los unos á los otros, caso que se presenta generalmente en vetas de este tipo y que se explica por la acción disolvente de las aguas mineralizadoras, que reduciendo el volumen de los fragmentos de roca preparaba cavidades en las que depositaba á continuación sus concreciones minerales, acabando por dar á las vetas el aspecto brechiforme. Es de notar que raras veces se encuentra un solo fragmento de roca aislado, pues casi siempre se presentan varios poco separados uno de otro, dispuestos á veces en hilera como lo hemos observado en un lugar de la veta de la Zorra á 80 metros de profundidad, figura 4.

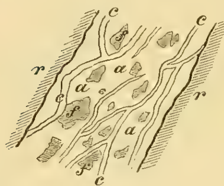


Figura 4.

a.—Cuarzo blanco lechoso.
c.—Cuarzo hialino ó graso, en venillas.
f.—Fragmentos de la roca de los respaldos.

La figura ilustra también otro caso muy frecuente y es el de la existencia de venillas de cuarzo graso ó hialino que parece haberse depositado en pequeñas reaberturas, lo que nos indica la coexistencia del depósito cuarzoso hasta el fin del depósito mineral, puesto que las pequeñas aberturas ya indican el llenamiento total de la fractura.

Las rocas así contenidas en el seno de las vetas no sufren por la influencia del relleno que las empasta más que una simple impregnación de sílice que las preserva hasta cierto punto de posterior alteración, pues que la materia incrustante le sirve de cubierta. El estado de los fragmentos esquinados indica que no han sido transportados de lejos sino simplemente desprendidos de las paredes, y se observa como hecho casi constante una menor alteración en estos fragmentos que en la más inmediata roca del respaldo.

En la mina del Rosario hay tramos en que abundan fragmentos de roca empotrados en la veta, y las zonas de matriz y mineral que las rodean siguen la misma alternancia que en el depósito concrecionado de toda la veta.

Otro de los elementos componentes de las vetas es el espato calizo, con una distribución sumamente irregular en algunas de ellas, y en otras de presencia constante; pero no afectando en nada ni la riqueza, como sucede para la veta del Comstock, donde según Becker un aumento de la calcita coincide con una mejoría en la riqueza; ni se ha observado regla alguna en su distribución á las profundidades en que ahora se explotan las vetas de Pachuca.

En la veta Vizcaina es bastante constante la presencia del espato calizo en gruesas cintas que alternan con el cuarzo, y estas cintas se ven claramente en las partes más estériles. En la mina de San Rafael, en el cañón 294, hemos visto cintas, hasta de 30 centímetros de espesor, de calcita de color blanco con sus grandes cruceros característicos. Igual constancia ofrece el espato calizo en las vetas de Maravillas y la Rejona y en las vetillas angostas que de ella se desprenden. En todas partes se observa claramente que el depósito

de carbonato de cal es el último elemento de la concreción, pues siempre rellena las pequeñas cavidades y quizá también las reaberturas. En las vetas, como por ejemplo en la de Maravillas, sin embargo de tener una estructura claramente en cintas, éstas no son simétricas á los respaldos, sino que parecen haberse depositado del bajo hacia el alto como si las aguas mineralizadoras hubiesen tenido por lecho aquel primer respaldo; el espato calizo se presenta formando la última cinta y en este caso acompañado más ó menos de óxidos ferruginosos por un fenómeno de alteración.

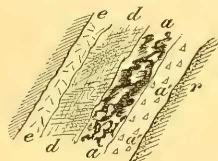


Figura 5.

r.—Respaldo impregnado de mineral.
a'.—Cuarzo ametista.
a.—Mineral con poco cuarzo.
d.—Espato calizo con cuarzo.
e.—Oxido de fierro y arcillas.

Esto fácilmente se observa en la veta de Maravillas en el tercer cañón, al W. del tiro del Zotól, á la profundidad de 100 metros. Damos una figura que ilustra esta disposición de las cintas de mineral. Figura 5.

Otro corte tomado sobre la misma veta y á corta distancia en el mismo cañón, nos dió la disposición siguiente: figura 6.



Figura 6.

a.—Cuarzo y mineral.
de.—Espato calizo y óxidos ferruginosos.

La calcita falta casi completamente en la mina del Pabellón, así como en la veta de la Zorra; en la veta de Guadalupe hay tramos que la contienen en gran cantidad y tramos casi totalmente desprovistos. En la veta de Calicanto, sobre la que están las minas de Guadalupe y San Francisco, es particularmente característica la abundancia de calcita, pudiendo decirse lo mismo de las minas de Santa Gertrudis y Barron, las dos sobre la veta de Santa Gertrudis.

Cuando se estudian la estructura y forma en que se presenta el carbonato de cal en las vetas de Pachuca, se advierte que los lugares en donde viene en cintas concrecionadas, como el cuarzo en gran parte de las vetas anteriormente enunciadas, es indudable que su origen debe buscarse en una causa profunda, en una venida del interior, en condiciones de temperatura quizá diferentes á las del cuarzo, pues que es un elemento que le ha sido posterior.

Es de sentirse que en la época de nuestra visita al Mineral, los efectos de la inundación y el gran número de minas paralizadas nos hayan impedido completar estas observaciones, pues por ejemplo, no conocemos la distribución de la calcita para vetas de la importancia de la Corteza, la prolongación del Cristo en el Encino, etc.

En la mina de San Francisco, como en Guadalupe del Fresnillo, sobre la veta de Calicanto, los sulfuros negros se hallan en cintas y moscas diseminadas en el espato Calizo, en partes con exclusión completa del cuarzo á la profundidad de 250 metros. Igual asociación se presenta en la mina de Camelia sobre la veta Vizcaina en el cañón 250 m.

En la mina de San Francisco un aumento de calcita coincide con mejoría de la ley.

Queda por considerar entre los minerales más constantes en las vetas de Pachuca, el manganeso que aparece como mineral explotable en la parte superior de las vetas y como matriz en las partes profundas; nos ocuparemos del manganeso en la profundidad. A este respecto puede decirse es característica la veta de los Analcos y algunos de los ramales que de ella se desprenden. Partes hay de estas vetas en que el elemento principal de la matriz lo constituye el manganeso en sus combinaciones más estables, como lo son los silicatos, rhodonita de variados matices y de estructura compacta, fibrosa, generalmente en cintas y concreciones que se ven alternar ya con el cuarzo, ya con cintas de sulfuros negros y aun con el carbonato de cal. En lugares en que se presenta la calcica, por lo general en aquellos en que este mineral ha aparecido por depósito químico posterior, introduce una modificación en el silicato de manganeso que se une á la cal y forma silicatos como la Xonotlita de color blanco y muy compacta ó la Bustamantita de colores gris y verde, ya compacta ó ya fibrosa.

Siempre es de advertir que es muy variable en estas vetas la cantidad de manganeso, aunque nunca ha cesado de presentarse en los minerales; por ejemplo, los de la mina del Rosario que son por esto fácilmente distinguibles y los metales que fueron extraídos de la famosa bonanza de Rosario, se caracterizaron por el manganeso que en sus silicatos ofrecían tintes variados y particulares.

El manganeso parece haberse presentado en las vetas un poco después de la venida del cuarzo, pues pocas veces se encuentran las cintas de concreción pegadas ó en contacto directo con los respaldos; y siguió presentándose ya solo ó ya mezclado á los sulfuros negros argentíferos, á los que puede decirse sirvió de vehículo; encontramos con frecuencia la rhodonita y los sulfuros negros íntimamente mezclados en zonas.

Redisoluciones operadas en las partes más manganesíferas de las vetas por aguas calcáreas, han arrastrado el manganeso y redepositádolo en las pequeñas geodas ó cavidades tapizadas de cuarzo cristalizado bajo la forma de manganocalcita y rhodocrocita, en hermosas agujas radiantes de color rosado ó en pequeños cristales romboédricos y en masas con cruceros, aunque bajo esta última forma es más común en cintas en el cuerpo mismo de la veta. La presencia de estos carbonatos en las geodas del cuarzo es otra prueba en favor del depósito químico del carbonato de cal posterior al relleno de las vetas. Los carbonatos de manganeso casi son exclusivos de la veta de los Analcos y en la mina de Rosario.

En otras vetas, además de la Vizcaina, que no ofrecen el manganeso cerca de la superficie ó en los crestones, el silicato de manganeso cesa de formar parte como elemento constante de la concreción de las vetas, y se presenta más bien como el último elemento del depósito contemporáneo de la calcita, los que juntos vienen á tapizar ó cubrir los vacíos que han quedado del

relleno de cuarzo y de sulfuros. En este caso aparece de un color amarillo, ó amarillo ligeramente pardusco, pulverulento por demolición durante movimientos posteriores al relleno. Es tan frecuente esta modificación, que es á veces difícil distinguir así el silicato de manganeso. Esto es notable en las minas de San Rafael y la Camelia, sobre la veta Vizcaina. En algunas minas raras veces se presenta el manganeso como en la mina del Bordo, en la veta de Pabellón, en la de la Zorra, en Santa Ana, y en las vetas de Calicanto y Guadalupe.

Debe decirse de paso que el manganeso es aun más abundante en una gran parte de las vetas del Distrito de Real del Monte, y que en general los metales manganesíferos introducen serias dificultades en el tratamiento metalúrgico.

Antes de terminar lo relativo á las matrices hay que hacer mención de la presencia accidental de la baritina en la veta de Santa Gertrudis, en la mina de Barron. Dicho mineral viene á la profundidad de 150 metros asociado al cuarzo, pero más generalmente al espato calizo en hermosas agrupaciones de cristales tabulosos. En muy pocos lugares de la veta se ha encontrado, y es la única mina donde se haya tenido conocimiento de la baritina en Pachuca.

Zona de Oxidación (Quemazones)

Trataremos ahora sucintamente de la composición de las vetas en la parte superior, donde debido á la presencia de los óxidos ferruginosos por alteración se producen los metales que se designan localmente en México con el nombre de colorados. Esta denominación, que se aplica en general, cesa de tener valor local en Pachuca, bien sea porque no siempre es ése el color de las partes oxidadas, ó bien por el estado de los metales, que más ó menos terrosos han recibido muchas veces el nombre de podridos. Difícil sería por demás precisar en cada caso la profundidad á que en cada mina ó veta se presentan los metales colorados, pues no ocupan en ningún caso un solo nivel, sino que su límite inferior es muy irregular tanto á causa de la variada y complicada configuración topográfica, cuanto porque el nivel hidrostático se halla complicado por la presencia de las columnas de agua que se distribuyen en las vetas de la manera que se explicará en el lugar correspondiente.

La estructura concrecionada de las vetas tiene en la región de los colorados un valor escaso, dada la complicación que ha introducido la fuerte descomposición. Apenas, puede decirse, se señalan las diversas zonas en las que por abundancia ó escasez de minerales oxidados aparecen con un mayor ó menor intenso color amarillo ó pardusco, color que frecuentemente se prolonga hasta la roca de los respaldos que ofrece siempre una avanzada alteración.

La zona de los metales colorados se caracteriza en un gran número de vetas por la presencia del manganeso bajo la forma de óxidos negros, de composición que responde á una mezcla de este mineral en varios estados de oxidación. Estos metales cargados de óxido de manganeso frecuentemente

vienen acompañados de pequeñas cantidades de sulfuros de plata, de cloruros y bromuros ó de plata nativa, pero generalmente en proporciones que apenas hacen estos metales de ley costeable. Estos metales á veces han traído leyes no despreciables de oro sobre todo cuando han venido mezclados con abundantes óxidos de fierro.

A estos metales se les designa con el nombre de quemazones, nombre aplicado indudablemente por su intenso color negro. Algunas veces aparece el manganeso desde los crestones en cintas alternando con cintas de cuarzo compacto ó cariado, indicando una concreción simultánea ó alternativa en el cuarzo lo mismo que en las partes profundas, y otras veces viene terroso, pulverulento ó en pegaduras en los relices y grietas del cuarzo, indicando en unos casos un verdadero transporte mecánico en tanto que en otros se indica su disolución en aguas y precipitación en los planos de separación en la forma de chapas ó dendritas, aspecto que también adquiere en las grietas de las rocas vecinas de las vetas.

Algunas veces en las partes de rocas descompuestas que entran también en el relleno de las vetas, aparece el manganeso en chapitas delgadas á las que están sobrepuestas laminillas de plata nativa y en más raros casos clorobromuro de plata.

Las quemazones han sido especialmente abundantes en la veta de los Analcos en la mina de San Cristóbal, en la parte superior de las bonanzas de la mina del Rosario. El socavón de Valenciana ha ido casi exclusivamente sobre la quemazón de la veta, en la veta de Corteza, y accidentalmente se presenta en la veta de Rosario Viejo, en la de Guadalupe y Calicanto en angostos tramos á los mismos niveles de los sulfuros negros. La veta del Cristo también ha tenido quemazones abundantes en la parte superior.

Es natural la presencia de los óxidos de manganeso en las vetas que á profundidad llevan el manganeso en la forma de silicatos, pues las quemazones no son más que el resultado de la oxidación superficial de dichos silicatos bajo la influencia casi exclusiva de la atmósfera.

Es de sentirse no poseer datos ciertos del límite de las quemazones á la profundidad por no haberse recogido datos bastantes durante los trabajos de las minas en las bonanzas superiores de las vetas como en la de Analcos y del Cristo.

A las quemazones acompañan generalmente los óxidos de fierro, pero pueden presentarse independientemente los unos y los otros. Los óxidos de fierro tienen por origen la descomposición aireal de las rocas en la vecindad de las vetas ó la descomposición de las piritas, y en este caso los metales que resultan son especialmente ricos en plata y algunas veces en oro. Debido á los dos orígenes de los óxidos ferruginosos es difícil distinguir de metales oxidados de igual aspecto, cuáles contienen leyes costeables y cuáles son enteramente estériles, y dos partes muy poco distantes de la misma veta ministran metales con y sin ley costeable. En este caso hay lugar de mencionar los metales colorados procedentes de una región misma que puede considerarse la pro-

longación de los Distritos de Pachuca y del Chico, la región de Sta. Rosa y Tepenené.

En metales oxidados se han disfrutado las antiguas bonanzas del Encino ó del Cristo y Calderona, de la veta de Maravillas en su tramo llamado de Rejona, y las muy famosas bonanzas de los Analcos, arriba del socavón de San Cristóbal; todas ellas tan cerca de la superficie que han debido trabajarse á tajo abierto y de cuya importancia dan ahora idea los grandes salones y comidos, cuyos restos se conservan como grandes tajos con la apariencia de anchos grietas que se ven en la superficie de las laderas orientales del cerro de San Cristóbal y en otras montañas.

La riqueza de estas bonanzas ha sido esencialmente debida al oro libre que dejaban las piritas, y por otra parte á minerales de plata como los cloruros y bromuros que venían bajo la forma de chapitas y pequeños cristales en la masa no compacta de estos metales, y es indudable que un fenómeno de concentración mecánica tanto de los minerales de plata como del oro libre dejado por las piritas, ha contribuído también en parte á esta riqueza; concentración que se ha operado durante la desagregación de los crestones.

El límite inferior de los óxidos ferruginosos en las vetas alcanza mayor profundidad que los óxidos negros de manganeso, pudiendo decirse que llega en algunos lugares á una profundidad mayor de 300 metros, como sucede en la mina del Bordo cuyos trabajos á esa profundidad van exclusivamente sobre metales oxidados generalmente pobres.

A medida que se desciende, los óxidos ferruginosos van disminuyendo en cantidad y se van limitando á cintas del lado del alto de las vetas hasta quedar reducidos á una angosta cinta en contacto con este respaldo, siendo este fenómeno la consecuencia del trayecto más fácil de las aguas superficiales, pues en general dichos óxidos son acompañados de arcillas que provienen de la descomposición de las rocas en contacto con las vetas. Algunas veces también los óxidos ferruginosos se presentan en cintas en el bajo de la veta por un fenómeno análogo.

Un corte de la veta de Calicanto presenta una estructura como sigue:

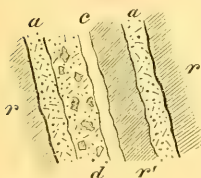


Figura 7.

a.—Cuarzo con óxidos ferruginosos y sulfuros negros.
d.—Sulfuros negros, cuarzo, calcita y fragmentos de la roca de los respaldos.
c.—Cinta de cuarzo puro.
r'.—Caballo de roca igual á la de los respaldos *r.*

Más clara se observa quizá la disposición de los óxidos en el siguiente corte tomado de la misma veta en la mina de Guadalupe Fresnillo, donde también se observa claramente la repetición de las zonas de concreción de uno y otro lado de los respaldos.

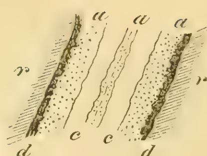


Figura 8.

a.—Oxidos ferruginosos y mineral en estado pulverulento (podrido):
c.—Cuarzo puro.
d.—Cuarzo y sulfuros negros.

En la veta del Zotol, en el tercer cañón á la profundidad de 250 metros, se presentan los óxidos ferruginosos por regla general en el bajo.

Como se ve, en las partes profundas los óxidos de fierro coexisten con los sulfuros negros independientemente, y no deben considerarse estas regiones como de metales colorados ú oxidados, puesto que la alteración de las zonas con óxidos, es solamente por trabajo mecánico de transporte de arcillas ferruginosas, y hay lugares en que á la vez que los óxidos, existen las piritas, lo que demuestra que no es una alteración *in situ.*

La fácil circulación del material oxidado no ha tenido, como es natural, igual acceso en toda una veta, y en algunos casos solo accidentalmente se encuentran zonas oxidadas de una veta á un nivel en que dominan exclusivamente los negros.

En resumen: la zona de los colorados y los negros son las únicas que pueden considerarse en Pachuca, habiendo casos en que tal separación no tiene un valor real.

Además de la impregnación silizosa de la masa de la roca de los respaldos, hemos tenido oportunidad de presenciar en algunas de las vetas la impregnación de la roca de los respaldos por los sulfuros negros, impregnación que no penetra á gran profundidad en la masa de la roca y que no la ha hecho sufrir una modificación profunda en su constitución. Este caso, bastante raro, hace presumir para su explicación satisfactoria la existencia de circunstancias muy locales que hayan permitido la circulación de las aguas mineralizantes por las superficies de los respaldos en reaberturas pequeñas que ponían á descubierto superficies de la roca empotrante, que así estaban sujetas á la acción de estas aguas.

En la veta de Maravillas, en la mina del Zotol, hemos visto un caso de impregnación mineral de un respaldo, pero cuya impregnación avanza poco en la masa de la roca. La estructura de la veta en ese lugar es como sigue:

Roca impregnada de mineral.
Cuarzo ametista.
Cuarzo y mineral.
Cuarzo y espato calizo.
Oxidos de fierro.

No consideramos el caso más frecuente de impregnación mineral en rocas desagregadas y muy alteradas, porque debe considerarse como resultante de accidentes posteriores al relleno de las vetas.

La pirita es tan constante y característica en estas vetas como lo puede ser el manganeso. La presencia de la pirita impregnando la roca de los respal-

dos á distancias relativamente considerables de las vetas, es en Pachuca un hecho general y más de una vez ha servído para indicar la proximidad de un filón en grandes trabajos de investigación, comunicación, etc.; siendo de notar que cualesquiera que sean las alteraciones, mediatas ó inmediatas de las rocas, la pirita de fierro se encuentra sin alteración cuando pasa de la zona de alteración atmosférica.

La pirita que viene en la masa de las rocas en la proximidad de las vetas afecta en general la forma de cristales muy pequeños siempre diseminados, á diferencia de la pirita en la masa misma de la veta que se reune formando cintas. Esto hace presumir la formación de la pirita de las rocas por una acción química operada entre elementos de dicha roca y la veta, y tan es necesaria esta influencia de la veta, que sólo en la proximidad de ésta es abundante y casi inseparable. Esta pirita es de la misma naturaleza que la pirita finamente cristalizada que con frecuencia se encuentra en los relices y planos de separación de rocas alteradas, transformadas casi en arcilla, y aun en rocas no alteradas.

En Pachuca, en rocas superficiales, hemos encontrado esta pirita, y en las mismas condiciones en rocas más modernas de carácter andesítico.

Parece muy probable que el fierro oxidulado que entra en el magma de las rocas puede contribuir en parte á esta formación de piritas juntamente con el ácido sulfhydrico que debe desprenderse en el último período de la acción fumaroliana y cuando ya el vapor de agua y el calor, que durante el principio de la venida de las aguas silizosas, habían producido la kaolinización y descomposición de las rocas cuyo grande agrietamiento y poca consistencia preparaban un medio propio para la cristalización, sobre todo en la superficie de dichas fracturas. La pirita que abunda en los respaldos casi nunca presenta cantidades apreciables de oro ó plata y viene algunas veces, aunque raras, acompañada de sulfuros de plata finamente divididos, de buena ley, y cuyos sulfuros, ó son de impregnación de la roca, ó traídos á estos respaldos arcillosos por acción mecánica.

La pirita de los filones es en la mayor parte de los casos argentífera y muy escasamente aurífera.

La distribución de la pirita en el cuerpo de las vetas es sumamente irregular á diversas profundidades, pero generalmente viene acompañada de los sulfuros negros en las cintas de este mineral, y su depósito en las vetas parece terminar antes de la incrustación del espato calizo, pues nunca se encuentra asociada á esta matriz y muy raras veces viene en las cintas de cuarzo puro. Esta pues, hizo su venida solamente en el tiempo de los sulfuros negros. El aumento de pirita en algunas de las vetas casi siempre viene acompañado de un aumento de sulfuros argentíferos.

Repartición de los minerales en profundidad.—Una vez establecida la separación en dos grandes zonas, la de los metales colorados ó zonas de oxidación, y la de los negros ó zona de los metales de profundidad, quedan por considerar las variaciones á que puedan dar lugar tanto en dirección como en pro-

fundidad las mezclas de las distintas especies minerales de las vetas. A la verdad las variaciones en dirección no son de importancia, pues que es muy reducido el número de especies minerales que en Pachuca se presentan, y las variaciones en profundidad son poco sensibles también, pues el avance de los trabajos mineros está lejos de alcanzar profundidades mayores de 400 metros, salvo el tiro y algunos pequeños cañones en la mina de San Pedro que alcanzan la profundidad de 504 metros, pero donde la mineralización no tuvo la formalidad suficiente para dar luz sobre el cambio en la naturaleza de los minerales.

Sin embargo, en los trabajos de algunas minas importantes se han iniciado ya algunas modificaciones, pero todavía la falta de datos de observación no permite darles el carácter de constancia.

Tan pronto como comienzan á presentarse los metales negros á profundidades variables en cada lugar, se presenta casi constantemente la galena de grano fino acompañando al sulfuro de plata y á la pirita común, y casi siempre impregnando al cuarzo, por lo que en general el metal es de gran dureza y fácilmente separable ó de pepena fácil. Algunas veces se presentan la galena y pirita solamente, argentíferas las dos. Un poco después viene en pequeña cantidad la chalcopirita acompañando á la pirita, persistiendo estos minerales hasta la profundidad conocida actualmente. La plata nativa, que como ya hemos visto aparece desde los metales colorados, persiste en algunos lugares hasta la zona de los negros, como en la mina de Camelia á 250 metros de profundidad, en la mina del Bordo poco más ó menos al mimo nivel, en Santa Ana á los 200 metros. Es de notar que las tres primeras minas están sobre la veta Vizcaina. A profundidades un poco menores se presenta también en la veta de Calicanto y en la de los Analcos. En el cañón de la Merced en la mina del Rosario, las quemazones se asocian á la galena argentífera.

Pronto se unen á estos sulfuros simples la estefanita y la polybasita íntimamente mezcladas con la galena y sulfuros de plata, que se aislan en pequeños cristales tabulosos en pequeñas geodas. Estos minerales han sido frecuentes en las bonanzas de Rosario, en las recientes bonanzas de Barron y Santa Gertrudis á 280 y 300 metros de profundidad, siendo los metales sumamente ricos. Los metales con estefanita y polybasita son casi siempre de poca dureza. En la famosa bonanza de San Rafael también se han presentado, pero siempre íntimamente mezclados á la galena, argentita y pirita. En general, minerales bien cristalizados han sido sumamente raros en Pachuca.

La blenda ha sido siempre un elemento poco abundante, pero un poco más constante en los trabajos más profundos y se presenta á un nivel medio de 200 metros, subiendo hasta los sulfuros con plata nativa en la mina de Santa Ana. En el nivel 300 de la mina de San Rafael se han encontrado pequeños ojos notablemente ricos en blenda; en la veta de Santa Gertrudis ha sido bastante escasa; es muy rara también en los Analcos.

Se cita un solo caso de vetas con pintas constantes de minerales de cobre

en la mina del Zotol, en donde los minerales se presentan acompañando á las quemazones; esta pinta es casi siempre el cardenillo muy raro en las otras vetas. En el nivel 300 de la mina de San Rafael se ha encontrado en raros ejemplares el cobre nativo en pequeños alambres acompañando á la blenda, á la polibasita y á la galena. La presencia de la blenda tiende á empobrecer los metales como parece suceder en San Rafael sin que sea un hecho claramente probado. Accidentalmente hemos encontrado cristales de clorobromuro de plata en los metales conteniendo galena y polibasita en la veta de Santa Gertrudis, en la mina de Barron.

Teniendo en cuenta la naturaleza de los minerales y su repartición en las vetas de Pachuca, se pueden establecer tres zonas distintas, de las cuales las dos primeras son bien características, á saber:

1ª zona.—Metales colorados (podridos): óxidos de fierro, óxidos de manganeso, cloruros y bromuros de plata, algunas veces oro nativo.

2ª zona.—Metales negros (metales de pinta): galena, argentita, pirita, accidentalmente chalcopirita.

3ª zona.—Metales negros (de fuego): galena, blenda, pirita, chalcopirita, estefanita, polibasita, accidentalmente pintas de minerales de cobre y cobre nativo. Matrices: cuarzo, calcita en unos, en otros cuarzo, calcita, rhodonita, xonotlita, manganocalcita.

Es notablemente característica en Pachuca la ausencia de los rocicleres ó platas rojas que son constantes en otros criaderos como los de Guanajuato.

Como se ve, esta repartición de los minerales en Pachuca va en general de acuerdo con lo que menciona De Launay en sus Gîtes Metallifères.

Von Grodeck coloca los Distritos mineros de Pachuca y Real del Monte como análogos del tipo Schemnitz, y los filones tienen efectivamente con los tipos elegidos las más grandes analogías, pero en general el Distrito de Pachuca es más simple en su constitución y no forma vetas de gran potencia, característica de los filones de Hungría. En cuanto á la posibilidad de que las vetas de Pachuca se liguen al sistema de Guanajuato, parece desprovista de verosimilitud dadas las diferencias de carácter, tanto en la estructura como en el carácter geológico de la región, por más que haya entre ellos contemporaneidad y ciertas relaciones genésicas. Nosotros hemos sostenido también las grandes analogías que existen en estas dos regiones minerales, distantes más de 450 kilómetros, y tratado de demostrar que son las serranías de que dependen de la misma edad, sometidas á los mismos accidentes orogénicos; pero esto no implica una relación de contemporaneidad ó de continuidad inmediata.

Von Grodeck separa la zona de los colorados de las quemazones, lo cual como hemos visto no es posible, toda vez que la alteración ferruginosa es constante en todos los filones en la superficie, y precisamente la primera zona ó de los colorados, se caracteriza por los abundantes óxidos mezclados de manganeso (quemazones).

Por la naturaleza, riqueza y estado de agregación de los metales en Pachuca,

se establece una separación que es muy cómoda y que da idea sobre todo del tratamiento metalúrgico á que deben ser sometidos los metales. Así por ejemplo, metales pobres (en general de 5 á 12 marcos por tonelada), duros, íntimamente mezclados con cuarzo, se designan con el nombre de *azogues*, palabra impropia muy comunmente usada por los mineros y que tuvo probablemente su origen en su fácil tratamiento por el patio. Metales más ricos (de 20 marcos y más por tonelada), en general de menor dureza, se designan con el nombre *de primera*. Las denominaciones por su naturaleza ya quedan indicadas en las páginas anteriores.

Puede ser de alguna utilidad presentar aquí un corte transversal de la veta madre de Guanajuato para hacer ver las diferencias y analogías que presenta dicha veta con las de Pachuca, que extensamente hemos descrito. Este corte está tomado de un hermoso fragmento completo que existe en la colección de la Escuela de Ingenieros y que puede mostrarse como típico de aquel poderoso filón. La potencia de la veta que da el fragmento es sólo de $1^{m}.50$ y la distribución de las zonas concrecionadas la manifiesta la figura adjunta.



Figura 9.

a. a.—Cuarzo blanco y ametista.

b. b.—Rhodonita, dolomia y pocos sulfuros negros, y venillas de cuarzo blanco.

c. c.—Rhodonita, chalcopirita y sulfuros negros.

d. d.—Cuarzo y dolomia.

e. e.—Rhodonita, sulfuros negros y chalcopirita.

f.—Cuarzo blanco y ametista.

r. r.—Roca de los respaldos en fragmentos con concreciones de rhodonita y venillas de cuarzo.

Distribución de la riqueza.—Ninguno de los variados problemas que se presentan en este Distrito minero es de tanto interés como la distribución de la riqueza de las vetas, de que ahora nos proponemos dar una idea general, si bien el asunto es bastante difícil y reclama la mayor circunspección. Los datos necesarios para fundar algunas conclusiones son demasiado escasos, pues desgraciadamente no se conoce absolutamente nada respecto á la distribución de la riqueza en las antiguas explotaciones de este Mineral, cuya antigüedad remonta como hemos visto, hasta los primeros días de la conquista. Y lo que es todavía más de lamentarse, es el descuido con que han visto las actuales Compañías la demarcación fiel sobre sus planos, de las bonanzas que han hecho de Pachuca un centro minero de primer orden en la América, y que no se haya puesto el cuidado bastante de asignar á cada bonanza los límites de su riqueza. Muy pocos son los planos de minas que traen indicados aproximadamente los contornos de sus clavos ricos, y ésto solamente obtenido por levantamientos incompletos de los grandes laboríos. Las antiguas y enormes explotaciones nos están ahora vedadas por su completo estado de destrucción, no hallándose en los planos más que el sistema de cañones y galerías que se

utilizan para el servicio de las explotaciones actuales. Sin embargo, hemos hecho grandes esfuerzos para completar nuestros datos sobre la distribución y damos los cortes y proyecciones verticales de las principales vetas del Distrito de Pachuca.

Si se observa con atención la proyección horizontal del conjunto de los trabajos de las minas del Distrito, se nota que la región bonancible se extiende en una alargada zona dirigida del N.W. al S.E., casi normal al sistema paralelo de las vetas, y que las explotaciones y con ellas las bonanzas de las diversas vetas presentan casi una posición alternante; es decir, que al tramo estéril de una veta corresponde una bonanza en la que le es inmediatamente vecina, sin que esta sucesión tenga el carácter de absoluta constancia.

Estudiando las proyecciones verticales de las vetas de Pachuca (véase el plano de esta proyección), se nota desde luego que las bonanzas se hallan agrupadas en dos zonas, una que podemos llamar zona superior y la otra zona inferior de bonanzas y que se hallan situadas arriba y abajo del plano de comparación que hemos adoptado que pasa $1^{m}.30$ arriba del brocal del tiro de San Juan. En la veta de San Juan de Analcos se han disfrutado bonanzas en las dos zonas: la antigua, superior, del lado occidental, cuyos grandes comidos llegan hasta la superficie. En la veta del Cristo las bonanzas han sido todas pertenecientes á la zona superior, encontrándose en la inferior uno que otro clavo; en las vetas Vizcaina, de Maravillas, Santa Gertrudis, las bonanzas corresponden á la zona inferior. La veta de Corteza como la de Analcos ha tenido bonanzas en las dos zonas.

La forma que en general afecta cada bonanza es la de una masa de contorno irregular que en algunos casos se alarga según una dirección, en otros se encuentra subdividida en dos porciones muy próximas una de otra, y las hay que han adquirido una forma casi elíptica, y finalmente, algunas de ellas ensanchándose en la parte inferior se angostan hacia arriba ó viceversa.

Los pequeños clavos que se han disfrutado en la mina del Bordo han sido alargados, angostos y casi verticales.

Cualesquiera que sean en general las formas de las partes ricas de las vetas, creemos que la palabra *columna* que se ha empleado para designarlas es impropia.

En Guanajuato las bonanzas han sido designadas como columnas y responden más bien á la división de masas irregulares semejantes á las que presentan las vetas de Pachuca, lo mismo que es esta la forma dominante de las bonanzas en los grandes y ricos filones de Schemnitz en Hungría y de Comstock en Nevada, entre cuyos tipos se comprende la región minera de Pachuca.

Algunas bonanzas tienden á afectar cierta forma circular y á ésta parecen referirse las bonanzas del Encino, las superiores de la veta de Analcos y la bonanza famosa de Rosario.

Las dimensiones de las bonanzas han sido extraordinariamente variables, y aparecen con mayores dimensiones y en mayor número en la parte superior

de las vetas. Entre las más grandes bonanzas de Pachuca debe contarse la gran bonanza de San Rafael que puede decirse todavía no se agota en profundidad, teniendo en su más grande longitud cerca de 1,000 metros, orientada de N.W. á S.E., con 400 metros de eje menor y 2.50 metros de espesor medio. Esta bonanza ha dado la respetable suma de $12.500,000 en un período de tiempo de ocho años.

Las bonanzas de la mina del Rosario en un período de 30 años, de 1853 á 1883, han dado cerca de 28.000,000 de pesos. En el siglo pasado, de la bonanza de la mina del Encino, á menos de 200 metros de profundidad, se extrajeron cerca de 6.000,000 de pesos. Añadiendo á éstas las bonanzas recientes de las minas de Santa Gertrudis, Barron y Maravillas, se puede asegurar que todas las minas del Distrito han producido hasta la fecha más de......... 100.000,000 de pesos. Se calcula que hasta fines de 1858 se habían extraído $57.226,000, por lo cual se ve que la mayor producción ha tenido lugar en el período de los últimos 38 años, durante los cuales se ha extraído una cantidad casi igual á la que se obtuvo desde el descubrimiento del Mineral hasta dicho año de 1858.

Las pequeñas masas más ó menos irregulares de riqueza reciben el nombre de clavos, sin que haya una demarcación precisa entre éstos y las denominadas bonanzas, pues algunas veces se aplican indistintamente, como por ejemplo, los mineros de Pachuca han llamado frecuentemente clavos á las bonanzas de Guatimotzin y de Rosario.

Cuando los clavos se suceden muy próximos los unos á los otros y tienen pequeñas dimensiones, se les designa con el impropio nombre de boleos, caso que ha sido frecuente para algunas vetas.

Cuando los clavos llegan á ser muy pequeños y se presentan accidentalmente en los tramos estériles de las vetas, se les da el nombre de ojos y éstos se destacan claramente por el contraste que en el color general del cuarzo estéril producen los sulfuros negros que forman dichos ojos. Por último, los puntos de metal negro que tienen menos de $0^{m}03$ y que vienen diseminados en la masa cuarzosa de la veta reciben el nombre de moscas; siendo esta distribución irregular la que constituye á veces lugares de riqueza mediana en la veta.

En las vetas de Pachuca lo mismo que en las de otros países pertenecientes al mismo tipo, así como en la mayoría de los criaderos filonianos, las bonanzas ó tramos ricos se hallan separados por tramos estériles que con ellos alternan, como se ve en las proyecciones verticales de las vetas que acompañan á este trabajo, y como se pueden ver en éstas, los tramos estériles que separan dos bonanzas tienen dimensiones que varían entre límites bastante amplios, lo cual hace difícil, juntamente con la irregularidad que afecta la zona profunda de riqueza, el pronóstico para el hallazgo de nuevas bonanzas en esta zona.

Es un hecho de observación en Pachuca el empobrecimiento de los metales á la profundidad; los grandes laboríos terminan, como es natural, allí

donde el empobrecimiento de la veta la hace pasar á casi una completa esterilidad. Esta creencia se halla perfectamente justificada si se atiende á que á la profundidad, al llegar al límite de las bonanzas en la zona hasta ahora explotada, se presenta la blenda, mineral casi completamente destituído de plata, y la cual aumenta en proporción á medida que la profundidad crece, llegando un momento en que los metales dejan de ser costeables. A causa de esto, puede darse el caso de que no obstante no disminuir la mineralización de la veta, ésta empobrezca hasta el grado de ser incosteable.

Podría muy bien considerarse la presencia de la blenda en estas vetas, así como algunos otros minerales que en pequeña cantidad la acompañan, como marcando el límite de la zona más profunda de riqueza en la cual vendrían desempeñando el papel que ha desempeñado hasta este límite la argentita, los sulfuros múltiples argentíferos tales como la polybasita, stefanita, etc., que ahora se presentan accidentalmente; en cuyo caso la zona de blendas pobres vendría á ser una zona de transición entre minerales relativamente dóciles como lo son los de las bonanzas actuales y los minerales más rebeldes de la desconocida zona profunda.

Como ejemplo de empobrecimiento de las vetas por la presencia de las blendas, citaremos los casos de las minas de San Juan, San Rafael y Porvenir sobre vetas muy diversas. En la primera, se encontraron las blendas á la profundidad de 504 en gran cantidad y con ley enteramente incosteable, por cuya razón se suspendieron los trabajos, lo mismo que en la mina de Porvenir. En la mina de San Rafael, en algunas labores del cañón 300, los minerales empobrecieron de la misma manera por la presencia de la blenda y del cobre nativo, siendo de llamar la atención que hubiera casos en los cuales el metal blendoso acusaba una alta ley, lo que parece venir en comprobación de la opinión ántes emitida, porque en estos metales se encontraba la polybasita y otros sulfo–antimoniuros y sulfo–arseniuros.

Análisis de cristales puros de pirita, galena y blenda hechos en nuestro laboratorio han demostrado que la pirita es siempre argentífera teniendo algunas veces hasta 16 onzas por tonelada; que la galena, menos argentífera, contenía además de muy pequeñas cantidades de plata un poco de antimonio; que la blenda acusaba la presencia del cobre y la del fierro y solo contenía en algunos casos vestigios de plata que probablemente venía en la chalcopirita con la que viene íntimamente mezclada.

Entre los mineros prácticos de Pachuca existe la creencia de que las vetas *hacen virtud* á los 150 metros de profundidad por término medio; es decir, que las partes bonancibles de las vetas se encuentran con toda regularidad y constancia á dicha profundidad. Este es un hecho de observación malamente formulado y al cual se le ha dado una generalización que en manera alguna le corresponde, y parece reconocer como fundamento el descubrimiento de las bonanzas más recientes. En efecto, San Rafael, Sta. Gertrudis y Barron cortaron poco más ó menos sus bonanzas á esta profundidad; pero para el establecimiento de esa ley empírica no se han tomado en cuenta las bonanzas histó-

ricas de la región y se ha hablado de la segunda zona de bonanzas sin tomar en cuenta la primera, que inauguró la riqueza de Pachuca y que se presentó desde la superficie. No hay razón científica posible de este hecho simplemente casual, cuando los desniveles entre las minas son en general fuertes y una misma veta, como la de Analcos, ha dado bonanzas superficiales como la de San Cristóbal y profundas como las de Rosario y Guatimotzin.

De Launay al hablar sucintamente de los criaderos argentíferos mexicanos menciona la aplicación de esta ley como muy general en nuestros distritos argentíferos.

En el sistema de vetas paralelas de Pachuca hemos notado ya la alternancia de las partes ricas cuando se sobreponen idealmente las proyecciones verticales normalmente á su dirección. Este caso no se verifica cuando se sobreponen en un mismo plano dos ramales de una veta ó el cuerpo principal con su ramal, pues entonces se sobreponen las bonanzas, lo que demuestra que han quedado en condiciones perfectamente idénticas durante la mineralización y afectados por el mismo fenómeno. El caso es enteramente constante y característico como lo demuestran las tres bonanzas que juntas se presentaron en los ramales de la veta de Maravillas, las bonanzas sobre los ramales de El Salón, Espíritu Santo y Esperanza, las de los dos ramales de la veta de Pabellón y las bonanzas de Rosario y Guatimotzin.

Respecto á la importancia de las vetas por el tamaño ó dimensiones de sus bonanzas, hay que citar en primera línea la veta de San Juan Analco ó de los Analcos; luego la Vizcaina, aunque en su tramo de Pachuca ha dado solamente una bonanza; la de San Rafael que ha sido particularmente importante en el tramo de Real del Monte. Después vienen en importancia las del del Cristo, Maravillas, Sta. Gertrudis y la de Corteza. La riqueza diseminada en pequeños clavos ha sido característica en las vetas de Los Clavos ó Valenciana, Guadalupe y Calicanto, cuya distribución en la veta tiene lugar sin ordenación regular alguna.

Un hecho digno de mencionarse es la coincidencia de los ensanchamientos de las vetas con las partes enriquecidas y estos aumentos de potencia hacen las bonanzas aún más importantes. En un corte transversal á la veta la forma de una bonanza sería de una lente sumamente aplastada. La máxima riqueza no corresponde siempre al eje del ensanchamiento. Sucede, aunque no con absoluta constancia, que los puntos de enriquecimiento coinciden con una disminución en el echado. Citaremos la Vizcaina en San Rafael y la veta del Cristo en el Encino, que han sido muy ricas en tramos donde estas vetas casi son verticales. En cambio, en la mina del Bordo, donde la veta es casi vertical, los clavos han sido angostos y pequeños. Para las demás vetas la riqueza parece concentrarse en la proximidad del eje de torsión pues á esta disminución en el echado sigue un cambio lento de echado en sentido contrario.

Respecto á la distribución del mineral en un corte transversal de la veta no se ha observado ley alguna; pues las cintas más ricas se cargan ya al bajo, ya al alto ó ya en el medio presentándose particularmente ricas junto á

los respaldos cuando parece haberse verificado una concentración mecánica por fenómenos posteriores al relleno.

Fenómenos posteriores al relleno de las vetas.—La última fase volcánica de la sierra de Pachuca vino á producir en toda la región, cuyos movimientos habían casi terminado después de la eyección metalífera, nuevo trastorno que ocasionó movimientos y rupturas con los resbalamientos y desalojamientos de que las vetas metalíferas conservan todavía las huellas. Esta fase volcánica interrumpió pues el decrecimiento de movimientos de la región que tendían al restablecimiento completo del equilibrio en toda la zona trastornada; se manifestó por la venida de las labradoritas ó rocas anexas al basalto y que, como hemos dicho, aparecieron esporádicamente en muchos puntos de la sierra, así como en sus flancos se derramaron en la forma de corrientes importantes.

Los volcanes pliocenos de los flancos meridionales de la sierra y la extensa é interesante corriente de basalto columnar de Regla, son pruebas evidentes de la importancia que alcanzara esta última manifestación del volcanismo; y las manifestaciones de pequeñas corrientes de los cerros de San Cristóbal y Cubitos en que el basalto se enfriaba rápidamente, indican la importancia que alcanzó la actividad.

Los efectos producidos en los cerros de San Cristóbal y Cubitos, no han sido de gran interés, pues mecánicamente ocasionaron tan sólo saltos pequeños y ligeras dislocaciones en la proximidad de la grieta ó chimenea por donde hicieron su aparición las lavas labradoríticas. Los movimientos que precedieron y siguieron á esta manifestación volcánica los podemos reunir en dos categorías, juzgando de la importancia de ellos por los efectos que quedaron impresos en el sistema de vetas del Distrito; son las de más importancia un movimiento lento y de prolongada duración que afectó igualmente y con cierta intensidad á toda la región comprendida por la sierra y cuyo movimiento estaba exclusivamente ligado con el movimiento general orogénico, del cual venía á ser la atenuada y última oscilación vertical que había de tender á establecer la estática definitiva de la región. A la otra categoría referiremos movimientos bruscos de corta duración directamente ligados á la acción volcánica de que hemos hecho mención, y los cuales alcanzaron su máxima intensidad en la vecindad inmediata de los puntos que se hallaban sometidos directamente á su acción ó sean la región del cerro de San Cristóbal y cerro de los Cubitos.

Los movimientos que podemos denominar volcánicos, produjeron en las vetas de la Zorra y San Antonio situadas en los flancos del cerro de San Cristóbal y en la veta de Santa Gertrudis, cerca de los flancos del cerro de Bartolomé de Medina que limita el vallecito de Santa Gertrudis, efectos diferentes. En los primeros fueron pequeñas dislocaciones que se produjeron casi exclusivamente en la parte más debilitada del cerro de San Cristóbal, mientras que en la veta de Santa Gertrudis el cuerpo mismo de la veta fué en tramos triturado. Es de lamentarse que no haya trabajos que permitan obser-

var las vetas principales que pasan por la cima del cerro de San Cristóbal en donde forzosamente han sido cortadas por el dique de labradorita, que derramando en la cima, forma un casquete cubriendo una gran extensión superficial que oculta á las vetas.

No nos fué posible encontrar en el poco tiempo que consagramos al estudio la continuación de las vetas en la falda occidental de dicho cerro, para comprobar si las vetas habían sufrido una dislocación notable en su prolongación.

En los trabajos del socavón de Calderona y de la Grande, que son las dos minas que se hallan más próximas á la labradorita, no se descubre ruptura alguna en la veta del Cristo. En el socavón de Prosperidad, labrado en la vertiente occidental del cerro de San Cristóbal, se presentan en la masa de las andesitas que forman la mayor parte del cerro, grietas anchas con rumbo análogo al de las vetas mineralizadas, rellenadas de garbancillos y material procedente de la desagregación de las rocas. El socavón se ha labrado en gran parte sobre la labradorita, la cual se ha cortado en un tramo de cerca de 450 metros, siendo éste probablemente el mayor espesor del dique de esta roca que corta al cerro.

En la mina de la Zorra, labrada sobre la veta del mismo nombre, y cuya situación se puede ver en nuestro plano adjunto, hemos encontrado dislocaciones pequeñas producidas por una angosta falla que también está rellenada de arcillas. La veta tiene en ese punto el rumbo 71° S.E. y la falla un rumbo de N. 45 E. con echado de 70° al S.E. En algunos cañones esta veta está algo mineralizada y en el tramo dislocado pierde su estructura característica. En otras partes y á niveles inferiores la dislocación no está acompañada de trituración y la veta presenta la estructura y salto de la figura 10.

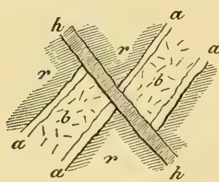


Figura 10.

a. a.—Cintas de cuarzo graso.
b. b.—Cuarzo y óxidos ferruginosos.
h. h.—Falla rellena de jaboncillos.
r. r.—Roca de los respaldos.

En la mina de Porvenir, según el plano que de sus labrados hemos visto, se presenta una dislocación importante producida por una falla cuya dirección y echado á distintos niveles fueron cuidadosamente levantados, pero encontrándose estos cañones en la actualidad bajo el nivel del agua nos ha sido imposible estudiarla.

En la veta de Santa Gertrudis hay junto al tiro de Bartolomé de Medina una grieta de cinco metros de ancho que ha cortado á la veta sin producir en ella dislocación alguna, estando dicha grieta llenada de material triturado procedente de los respaldos.

En cuanto al movimiento lento que, como dijimos, ha sido el más general y por lo mismo afectó á todo el sistema de vetas dejando en cada una de ellas indicios manifiestos de su acción, se traduce en todas las vetas por un estado fragmentario bastante característico por el contraste que produce en el relle-

no de las vetas en los tramos en que no ha habido movimiento; pues que algunas veces hace que se pierda por completo la estructura característica de la veta ó se conserve ésta en condiciones que hacen difícil su reconocimiento. En una misma veta hay tramos triturados y tramos que no han sufrido modificación alguna, circunstancia que se explica por las diferentes condiciones físicas de las distintas partes de las vetas. Siendo el cuarzo el relleno principal, es éste el que manifiesta más claramente esta trituración, y tanto más cuanto que por sus caracteres de dureza, estructura, tenacidad, etc., se presta poco á movimientos que no se verifican uniformemente sobre todo el cuerpo de la veta. Este despedazamiento ha terminado por cimentar tramos de las vetas en masas de pequeños fragmentos angulosos de algunos centímetros de longitud, y llega en otros hasta reducirse á una masa pulverulenta cuyo grano se asemeja á la simple vista al de una arena fina.

La presencia del manganeso bajo la forma de silicato, en general más desagregable por su menor dureza, hace esta masa casi terrosa; los minerales metálicos contribuyen aún más, y llega á ser tan fino el polvo á veces, que recibe el nombre de lama por la semejanza que tiene con los metales que han sufrido ya la molienda. Estas lamas son mucho más comunes en los respaldos y equivalen á las guardas, es decir, á capas más ó menos delgadas que provienen de la desintegración de las rocas por efecto de las presiones, deslizamientos, etc., á que han sido sometidas.

No todo el espesor de un filón en un punto dado sufre la misma trituración, puesto que no todas las cintas constituyentes tienen la misma composición, y así se nota con frecuencia que las cintas más mineralizadas se hallan en un estado más avanzado de desagregación, dando lugar á veces á la creencia de que las partes más ricas son las de mediana dureza, ley que no se verifica siempre, y más aquí que la dureza proviene de la mayor ó menor resistencia que ha presentado el cuarzo por la mayor ó menor cantidad de minerales metálicos que contiene, que son los de más fácil trituración. Esta trituración de los sulfuros y su reducción á pequeñas partículas ha dado lugar á un transporte mecánico al que han contribuído su grande densidad relativa y la acción de las aguas de circulación en el seno mismo de las vetas; es decir, una concentración mecánica que deposita las partículas minerales en los respaldos del criadero, y á esto se debe á veces el enriquecimiento de las lamas de las guardas de las vetas. Casi no hay veta en Pachuca que no ofrezca localmente este fenómeno que ha sido característico tanto de la veta Vizcaina como de la veta de Santa Gertrudis; siendo en esta última las lamas á veces sumamente ricas. Los relices planchados que indican un verdadero deslizamiento, son frecuentes en algunos lugares como en la mina del Zotol en la veta de Maravillas, en la Vizcaina en la mina de San Rafael, en los Analcos y en otras muchas vetas con entalladuras ó canales que resultan de la irregularidad misma de la superficie de la veta y de la desigual resistencia ó dureza del respaldo.

Se ha dudado por varios escritores la existencia de salbandas en Pachuca,

ó por lo menos su constancia en estas vetas.[1] Von Groddeck dice que son poco acentuadas. De Launay[2] tampoco las considera y toma á la par que otros viajeros que han escrito sobre Pachuca (Burkart) los materiales arcillosos de los respaldos como un producto lodoso de erupción ó como diques paralelos del filón y muy alterados. Nada de esto se verifica, y se puede demostrar que estas materias arcillosas presentan todavía algunas formas y aspecto enteramente análogo al de la roca no descompuesta de más lejos de la veta, y que se pasa gradualmente de las arcillas ó rocas kaolinizadas á la roca no alterada. Estas son pues, simples modificaciones de la roca empotrante por la acción combinada de un movimiento y reacciones químicas como ya lo hemos manifestado al hablar de las piritas que las impregnan sin alteración. Por otra parte, las superficies planchadas demuestran fenómenos posteriores al relleno, y esto y lo anterior caracterizan una verdadera guarda, porque es indudable que este movimiento ha contribuído también á su desagregación.

Estas guardas son gruesas y constantes en la veta de Santa Gertrudis, cuya situación hace presumir un mayor trabajo dinámico y acción más constante de las aguas. Los trabajos en las minas de Bartolomé de Medina, Sta. Gertrudis y Barron, han sido un tanto difíciles y costosos á causa de la potente masa de arcillas que envuelven al criadero y que han necesitado muy importantes obras de fortificación y un sistema especial de explotación.

Los movimientos son aquí más claros, pues que en grandes tramos la veta afecta una estructura brechoide característica y cintas terrosas algunas veces muy ricas.

1 Von Groddeck.—Obra cit. pág. 237.
2 De Launay.—Obra cit.



V

SISTEMA DE FRACTURAS.

Nos. 7, 8 y 9—11

SISTEMA DE FRACTURAS.

La sierra llamada de Pachuca y Real del Monte corre con una dirección media de N. 45° W. á S. 45° E. Por el N. W. va á morir á la depresión de Actopan y por el S. E. al valle de Tulancingo.

Sus aguas se dividen en dos vertientes: la del N. E. y la del N. W.; la primera desagua en la barranca de Amajac y la segunda en la cuenca de México. Las barrancas son profundas, de paredes acantiladas y fuertes pendientes; los saltos ó cascadas de poca altura son frecuentes, sobre todo en la vertiente N. E. y no es raro encontrar en su trayecto los pozos llamados *marmitas de los gigantes.*

Las rocas que forman la sierra son cristalinas y de composición poco variable. Su parte media y más alta está constituída por brechas volcánicas, tobas traquíticas cimentadas por una masa de andesita; la forma de la porción ocupada por estas brechas se aproxima á una elipse, cuyo eje mayor tiene el mismo rumbo de la sierra y una extensión de 4 kilómetros, el eje menor teniendo una longitud de 2. En los contrafuertes del N. y del S. y formando manchones poco extensos se encuentran también estas brechas, pero aparecen tan aislados y tan desgarrados por la erosión, que no es posible siquiera definir su rumbo. Si se estudian las rocas en una sección transversal de la sierra se pasa insensiblemente de las andesitas de hornblenda de color violado á las dacitas y rhyolitas, para volver en sentido inverso á la misma sucesión; el paso es tan insensible que no es posible notar separación alguna. Las rhyolitas ocupan el centro, presentándose en algunas partes (Cerezo) pseudo-estratificadas, siendo muy pequeña su inclinación con relación al horizonte. Siguiendo la sierra de Real del Monte á Tulancingo, el cambio de coloración de la roca indica el paso de las andesitas á las rhyolitas; éstas, en la cercanía del Real son semejantes á las nevaditas, viniendo después á ser enteramente vítreas, dando pómez y sobre todo obsidiana en abundancia. Esta rhyolita vítrea está pseudo-estratificada y las capas plegadas, siendo muy difícil definir la dirección de los ejes anticlinales y sinclinales dada su sinuosidad. En

la barranca llamada del Atajo, que desemboca en una pequeña llanura de la Hacienda de Cuyamaloya, la separación de las andesitas y rhyolitas es muy marcada, apoyándose estas últimas sobre las primeras.

Las andesitas en el cerro de San Cristobal se encuentran cortadas por un dique basáltico, que forma en su cima un casquete y se encuentra después en el socavón de Prosperidad con una potencia superior á 400 metros.

La sierra no forma un todo continuo, sino al contrario, dividido en macizos por dos sistemas de grietas; uno en relación con las vetas y otro debido al enfriamiento; este último habiendo sobre todo ayudado á los agentes de la dinámica externa, facilitando su acción destructora, y cuyo efecto inmediato ha sido la formación del terreno de acarreo, que tan abundantemente se encuentra en los contrafuertes.

La falda N. de la sierra se extiende hasta encontrar las pizarras y margas calizas del Cretáceo. Estos sedimentos están profundamente plegados, formando sierras de gran altura y barrancas profundísimas como la de Regla. La depresión hacia el N. de la sierra volcánica y hacia el S. de la formación cretácea, está rellenada por tobas y brechas pomosas y por una corriente basáltica, formándose así una gran meseta entre las dos sierras. El rumbo de los anticlinales y sinclinales de las capas sedimentarias varía desde el N.W. á S.E. hasta venir á tener próximamente la dirección E.-W.

Según esto, la sierra de Pachuca y Real del Monte aparece como un dique, efecto de las mismas fuerzas que tan profundamente plegaron los sedimentos cretáceos. Todo el local ocupado por la formación cretácea, corresponde pues á un geosinclinal, cuya mayor profundidad está medida por el espesor máximo que estos sedimentos alcanzaron (2,000 metros).

Las brechas volcánicas corresponden al principio del levantamiento y forman así la parte primeramente emergida. Cuando el levantamiento se continuó, el mismo movimiento trituró esta parte ya enfriada, que el magma recientemente salido aglutinó después, explicándose así la formación de estas brechas.

La experiencia ha confirmado que diferencias de presión y temperatura explican la transición de las rocas; y si á esto se añade que el macizo rocalloso está dividido en blocks, las caras de separación siendo superficies planas, tersas y continuadas, es no sólo imposible negar la existencia de una presión, sino que tales hechos confirman que su existencia es inconcusa.

Si aceptamos que la tierra ha sido formada, como todos los astros, por la aglomeración sucesiva de la materia venida de muy lejos, el origen de su calor central se explica fácilmente, pues tal formación ha debido ser acompañada de gran desprendimiento de calor. En efecto, el siguiente cálculo, muy sencillo, basta para convencernos.

Un cuerpo lanzado horizontalmente en la superficie terrestre, haciendo abstracción de la resistencia del aire y con una velocidad suficiente, describirá una órbita circular de radio ρ en un tiempo T, dado por la siguiente ecuación;

$$\frac{4\pi^2\rho^3}{\tau^2} = G.\ \rho^2 \qquad ó \qquad \tau = 2\pi\sqrt{\frac{\rho}{G}}$$

G siendo la intensidad de la pesantez ecuatorial. Es como se ve la duración de la oscilación doble del péndulo de radio ρ. Se encuentra $T = 1^h\ 23^m\ 40^s$. La velocidad en este círculo sería igual $\sqrt{G\rho} = 7905$ metros por segundo; por consiguiente, un cuerpo cayendo de una distancia extremadamente grande sobre la tierra, sin velocidad inicial, la encontraría con una velocidad

de $7905\sqrt{2} = 11,000$ metros por segundo.

Un kilo de materia desarrolla en estas condiciones 14,000 calorías: la tierra ha sido pues fluida, pudiendo así tomar la figura que convenía al equilibrio de las fuerzas interiores.

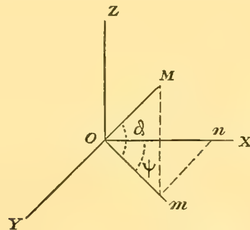
Según esto, debemos considerar la tierra formada de una corteza sólida envolviendo un núcleo líquido.

Aceptada tal concepción, la teoría de la elasticidad puede ser aplicada al equilibrio interior de la corteza terrestre.

Al hacer Lamé tal aplicación, dice:

"Hagamos abstracción de la heterogeneidad de la corteza sólida, de las desigualdades de su espesor y de su aplanamiento polar. El espesor ε al cual los geólogos asignan como máximo 4 miriámetros, es, cuando más $\frac{1}{150}$ del radio terrestre ó $\frac{1}{300}$ del diámetro; la relación $\frac{\varepsilon}{r_1}$ es la misma que existiría en una esfera hueca, de 3 metros de diámetro, cuya envoltura tuviese solamente 0^m01 de espesor; esta relacion es pues una pequeña fracción, y nuestras formulas aproximativas le son aplicables." (Theorie mathematique de l' eslasticité des corps solides, párrafo 89, pg. 218).

La naturaleza de nuestro trabajo no nos permite entrar en grandes desarrollos; así es que vamos á exponer sucintamente la aplicación, dando tan sólo las ecuaciones fundamentales, para que se vea claramente la marcha de la operación.



Sea o el centro de la esfera, $o\,x$, $o\,y$, $o\,z$, el sistema de ejes primitivos; el plano $(x\,y)$ lo tomamos por plano ecuatorial, el $(x\,z)$ por primer meridiano y sea M, un punto de la envoltura esférica.

Si referimos este punto á coordenadas esféricas, su posicion quedará defi-

nida por su distancia r al centro, por el ángulo que esta línea hace con el Ecuador ó sea por su latitud φ, y por el ángulo que la misma línea hace con el primer meridiano ó longitud ψ. Si en el meridiano y el paralelo que pasan por M consideramos dos tangentes partiendo de este punto, y prolongamos el radio r, tendremos un nuevo sistema de ejes, su origen estando en M.

Demos un desalojamiento al punto M, y llamemos U, V y W las proyecciones de este desalojamiento; U sobre la prolongación de r, V sobre la tangente al meridiano y hacia el polo, y W sobre la tangente al paralelo y del lado opuesto al meridiano fijo. Si ahora llamamos R_i, Φ_i, ψ_i las componentes según estos mismos ejes de la fuerza elástica ejercida en M sobre el elemento plano de una de las superficies coordenadas, tomando el índice i igual á 1, 2 ó 3 según que el elemento plano sea tangente á la esfera, al cono de latitud ó esté en el meridiano, y si por último llamamos θ la dilatación cúbica, tendremos las ecuaciones siguientes que ligan las fuerzas y los desalojamientos.

$$\theta = \frac{1}{r^2}\frac{dr^2 U}{dr} + \frac{1}{rc}\frac{dc\,V}{d\varphi} + \frac{1}{rc}\frac{d\,W}{d\psi} + \rho\,R_0$$

$$R_1 = \lambda\theta + 2\mu\frac{dU}{dr};\ \Phi_2 = \lambda\theta + 2\mu\left(\frac{U}{r} + \frac{1}{r}\frac{dV}{d\varphi}\right)$$

$$\psi_3 = \lambda\theta + 2\mu\left(\frac{U}{r} - \frac{sV}{cr} + \frac{1}{rc}\frac{dW}{d\psi}\right)$$

$$\Phi_3 = \psi_2 = \mu\left(\frac{1}{rc}\frac{dV}{d\psi} + \frac{1}{r}\frac{dW}{d\varphi} + \frac{s}{c}\frac{W}{r}\right)$$

$$\psi_1 = R_3 = \mu\left(\frac{dW}{dr} - \frac{W}{r} + \frac{1}{rc}\frac{dU}{d\psi}\right)$$

$$R_2 = \Phi_1 = \mu\left(\frac{1}{r}\frac{dU}{d\varphi} + \frac{dV}{dr} - \frac{V}{r}\right)$$

No conservando sino R_0, fuerza debida á la pesantez y cuyo valor es $-\frac{gr}{r_1}$, g siendo la intensidad de la pesantez en la superficie, supuesta constante.

En el caso que estudiamos llamemos $-P_0$ la presión del núcleo que se ejerce sobre la pared interior de la envoltura de radio r_0, y $-P_1$ la presión atmosférica que actúa sobre la superficie exterior de radio r_1. Consideraremos $P_0 > P_1$ y tal que $r_0^3\,P_0 - r_1^3\,P_1 > O$. En estas condiciones sólo queda U, desalojamiento en el sentido del radio, siendo U=O y W=O.

Las ecuaciones anteriores se transforman, pues, en las siguientes:

$$(\lambda + 2\mu)\frac{d\theta}{dr} = \frac{\rho gr}{r_1},\ \text{ó}\ \theta = ar^2 + 3c;\ U = \frac{a}{5}r^3 + cr + \frac{b}{r^2},\ \text{siendo}$$

$a = \frac{\rho g}{2(\lambda + 2\mu)r_1} = \frac{\omega}{2(\lambda + 2\mu)r_1}$, ω el peso de la unidad de volumen de la materia, ρ la densidad y c una constante arbitraria.

$$R_1 = \lambda\,\theta + 2\,\mu \frac{d\,U}{dr};\quad \Phi_2 = \psi_3 = \lambda\,\theta + 2\,\mu \frac{U}{r}$$

Si diferenciamos la ecuación en U y ponemos en la ecuación en R_1 por esta diferencial y θ sus valores, tendremos:

$$R_1 = (3\,\lambda + 2\,\mu)\,c + ar^2 \left(\lambda + \frac{6}{5}\,\mu\right) - \frac{4\,\mu\,b}{r^3}.$$

Pero para $r = r_0$, $R_1 = -P_0$, y para $r = r_1$, $R_1 = -P_1$, luego tendremos las siguientes:

$$-P_0 = (3\,\lambda + 2\,\mu)\,c + ar_0{}^2 \left(\lambda + \frac{6}{5}\,\mu\right) - 4\,\mu\,b\,\frac{1}{r_0{}^3}$$

$$-P_1 = (3\,\lambda + 2\,\mu)\,c + ar_1{}^2 \left(\lambda + \frac{6}{5}\,\mu\right) - 4\,\mu\,b\,\frac{1}{r_1{}^3}$$

Combinando estas ecuaciones tendremos:

$$4\,\mu\,b = \frac{r_0{}^3\,r_1{}^3\,(P_0 - P_1)}{r_1{}^3 - r_0{}^3} - \left(\lambda + \frac{6}{5}\,\mu\right) a\,\frac{r_0{}^3\,r_1{}^3\,(r_1{}^3 - r_0{}^2)}{r_1{}^3 - r_0{}^3};$$

$$(3\,\lambda + 2\,\mu)\,c = \frac{r_0{}^3\,P_0 - r_1{}^3\,P_1}{r_1{}^3 - r_0{}^3} - \left(\lambda + \frac{6}{5}\,\mu\right) a\,\frac{r_1{}^5 - r_0{}^5}{r_1{}^3 - r_0{}^3}$$

La fuerza elástica R_1, tendrá pues por valor:

$$R_1 = -\frac{r_0{}^3\,P_0\,(r_1{}^3 - r^3) + r_1{}^3\,P_1\,(r^3 - r_0{}^3)}{r^3\,(r_1{}^3 - r_0{}^3)} + \left(\lambda + \frac{6}{5}\,\mu\right) a\,\frac{\pi}{r^3\,(r_1{}^3 - r_0{}^3)},$$

en la que, $\pi = r^5\,(r_1{}^3 - r_0{}^3) - r^3\,(r_1{}^5 - r_0{}^5) + r_0{}^3\,r_1{}^3\,(r_1{}^2 - r_0{}^2)$

Este valor puede escribirse como sigue:

$$\pi = r_1{}^5\,(r_0{}^3 - r^3) - r_1{}^3\,(r_1{}^5 - r^5) + r_0{}^3\,r^3\,(r_0{}^2 - r^2) = r_0{}^5\,(r^3 - r_1{}^3) -$$
$$- r_0{}^3\,(r^5 - r_1{}^5) + r_1{}^3\,r^3\,(r^2 - r_1{}^2).$$

Es, pues, divisible por $(r - r_0)$ $(r - r_1)$; por lo que tendremos:

$$\pi = (r - r_0)\,(r - r_1)\,Q;\ Q = (r_1{}^3 - r_0{}^3)\,[r^3 + (r_0 + r_1)\,r^2] + r_0{}^2\,r_1{}^2\,(r_1{}^2 - r_0{}^2) \times$$
$$\times [(r_0 + r_1)\,r + r_0\,r_1].$$

Q siendo positiva, π será negativa, y por lo mismo la fuerza elástica R_1 que se ejerce sobre la superficie esférica de radio r es una presión en toda la extensión de la envoltura sólida.

La experiencia ha confirmado la existencia de tal presión.

Si en la ecuación en Φ_2, ponemos por θ y U sus valores, y sustituimos el valor de las constantes encontradas anteriormente, tendremos llamando F este valor,

$$F = \frac{r_0{}^3 P_0 - r_1{}^3 P_1}{r_1{}^3 - r_0{}^3} + \frac{r_0{}^3 r_1{}^3 (P_0 - P_1)}{2 r^3 (r_1{}^3 - r_0{}^3)} - a \left[\frac{4}{5} \mu \frac{r_1{}^5 - r_0{}^5}{r_1{}^3 - r_0{}^3} + \right.$$

$$\left. + \frac{(3\lambda + 2\mu) r_0{}^3 r_1{}^3 (r_1{}^2 - r_0{}^2) + 2(\lambda + 2\mu)\pi}{2 r^3 (r_1{}^3 - r_0{}^3)} \right]$$

Para $r = r_0$, $F = F_0$, y para $r = r_1$, $F = F_1$; luego tendremos restando:

$$F_0 - F_1 = \frac{P_0 - P_1}{2} - (3\lambda + 2\mu)\, a\, \frac{r_1{}^2 - r_0{}^2}{2}$$

F es la fuerza elástica que se ejerce en un plano vertical *o* pasando por el radio r, F_1 es la intensidad de esta fuerza en la superficie exterior y F_0 en la pared interior.

Llamando ε el espesor de la corteza igual á $r_1 - r_0$, U_0 el valor de U* para $r = r_0$, y U_1 para $r = r_1$, tendremos restando:

$$\frac{U_0}{r_0} - \frac{U_1}{r_1} = \frac{1}{4\mu} \left(P_0 - P_1 - \omega\varepsilon \frac{r_1 + r_0}{2 r_1} \right)$$

El valor de U, desalojamiento en el sentido del radio, puede ser puesto bajo la forma siguiente, más conveniente para las aplicaciones:

$$U = C \left(\frac{P_0 - P_1}{\varepsilon} R^2 - \rho\, g\, R^2 \right),$$ C siendo una constante y R el radio.

$\omega\,\varepsilon$ es el peso de una columna de materia solida, teniendo por base un metro cuadrado y por altura ε; $\frac{r_1}{2\varepsilon}$ es igual proximamente á 75, de aquí resulta que la diferencia de $P_0 - P_1$ á $\omega\,\varepsilon$ es actualmente poco considerable. "La fuerza elástica F_0 es la que se ejerce sobre un plano vertical cerca de la pared interior; si F_1 es nula, esta fuerza elástica F_0 es una presión $\left(- \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right) \omega\,\varepsilon$; si F_1 es negativa ó representa una presion, F_0 es una presión más fuerte aún. Pero si F_1 es positiva ó representa una tracción, F_0 puede ser aún una presión."

"La tierra no siendo esférica, admitamos que, sobre cada vertical, las cosas se pasan como en la envoltura esférica osculatriz, de espesor ε, y cuya pared exterior tendría por radio la distancia R al centro de la tierra, del lugar en que la vertical considerada viene á encontrar la superficie. Por ejemplo, (U' R' g') siendo los valores de (U, R, g,) que corresponden á la Bretaña, y (U'' R'', g'') los que corresponden á la Succia, tendremos:

$$U' = C \left(\frac{P_0 - P_1}{\varepsilon} R'^2 - \rho\, g'\, R'^2 \right)$$

$$U'' = C \left(\frac{P_0 - P_1}{\varepsilon} R''^2 - \rho\, g''\, R''^2 \right)$$

* Estas transformaciones se hacen en la ecuación anterior en U, después de haber sustituído por las constantes los valores encontrados.

admitiendo que el espesor ε y las presiones $-P_0$ y $-P_1$ son las mismas en las dos verticales.

Si se hace abstracción de la débil variación que la fuerza centrífuga hace sufrir á la pesantez, se podrán mirar los dos productos $g' R'^2$ y $g'' R''^2$ como sensiblemente iguales y las ecuaciones anteriores dan:

$$U' - U'' = C \left(\frac{P_0 - P_1}{\varepsilon}\right) (R'^2 - R''^2)$$

Según esta relación, puesto que $(R'^2 - R''^2)$ es positivo, $U' - U''$ es del mismo signo que $P_0 - P_1$, ó positiva, y varía en el mismo sentido. Es decir, que si $U' - U''$ ha disminuído, es necesario concluir que P_0 ha disminuído también. Se sabe que el suelo de la Bretaña se ha hundido, puesto que se ha probado la presencia de florestas submarinas; al contrario, el suelo de la Suecia se ha elevado, puesto que se observan conchas sobre las costas que el Báltico no ha podido alcanzar. Por esta doble razón, $U' - U''$ ha disminuído; así la presión interior ha ido disminuyendo. Este resultado parece comprobar la idea de Elie Beaumont, sobre la formación de las cadenas de montañas, como consecuencia de un debilitamiento general, debido al enfriamiento.

Así concebida la formacion de la sierra, los sistemas de fracturas que en los contrafuertes del N. y del S. se encuentran, aparecen, evidentemente, como consecuencia de los mismos esfuerzos que plegaron los sedimentos cretáceos; é hicieron emerger las rocas volcánicas que forman nuestras cordilleras terciarias.

El plano adjunto representa el sistema de fracturas, cuya explotación motivó la apertura de gran número de minas, que tanta importancia han dado al Mineral de Pachuca.

Vamos á hacer el estudio de este sistema con el objeto de investigar la naturaleza de los esfuerzos y su dirección; y para completar el estudio de las fracturas, expondremos las ideas más generalmente admitidas con el fin de investigar la máxima profundidad posible á que una grieta puede quedar abierta.

Veta de los Analcos.

Grieta muy marcada desde el socavón del Rosario hasta su unión con la veta de la Zorra; de aquí al W. su marcha es confusa y se pierde enteramente al llegar al casquete de labradoritas que corona al San Cristóbal. Del socavón del Rosario al E. el crestón es visible hasta llegar á la mesa de San Pedro, donde es ocultado por las areniscas y brechas piroclásticas, á su vez cubiertas por tobas amarillas y muy pocas brechas pomosas. Es sumamente interesante la ramificación en arco llamada veta de Fresnillo, que se encuentra en el fondo de la barranca del Rosario.

Como dependencias de esta veta tenemos, al E. del tiro de San Juan, las de San Manuel y Precavida poco marcadas en la superficie, y bien marcadas

las vetas de Guadalupe y Cal y Canto. Esta última muy probablemente pasa al N. de la hacienda de la Purísima Grande y va á unirse en el cerro de la Magdalena con los Analcos.

Según el plano, parece más bien que la veta de Cal y Canto es la continuación al S.E. de la de Guadalupe, y el ramal que al W. se desprende es el que va á unirse con los Analcos; sin embargo en Pachuca se llama veta de Cal y Canto al ramal del W. y á la continuación al S. E. de la veta de Guadalupe.

Al W. del tiro de San Juan, y como dependencias también de los Analcos, tenemos: la veta de la Zorra, de crestón muy bien marcado; pasa por el tiro que le da su nombre y se pierde al entrar en la hacienda de Loreto; y cerca de la mina de San Cristóbal, dos ramales que hacia el N. se desprenden, el del S. llamado veta del Balcón; estos ramales así como la veta principal van en el cerro de San Cristóbal por entre acantilados de gran altura; bien pronto su marcha se hace dudosa hasta que se pierden por completo en la proximidad de las labradoritas.

En la región del S.E. tenemos las vetas de Valenciana y Corteza: la primera se une á la de Cal y Canto, y corre sensiblemente paralela á la veta de los Analcos en la porción comprendida entre las minas de San Cristóbal y el Rosario; la segunda forma uno de los crestones más claros, cerca de la mina de Sta. Apolonia, ramaleándose más al E., aparece como transversal con relación á las otras vetas, y según dicen disloca á la veta Valenciana en la mina del Porvenir. No pudimos observar la falla por estar inundadas las minas.

La primera veta importante que al N. de los Analcos se encuentra es la llamada del Cristo en su parte occidental y del Encino en su parte oriental. Corre sensiblemente paralela á los Analcos, y va á perderse como ésta en las labradoritas. Estas dos vetas importantes están unidas por una transversal (veta X) bastante potente. Como dependencias de ésta tenemos: al W. las de San José el Viejo que se une al Cristo, S. Lorenzo, El Altar y Sta. Rita que da un ramal que va á unirse á los Analcos; al E. varios ramales que van adelgazándose hasta perderse casi por completo al E. de la barranca del Rosario.

Viene después la veta del Pabellón; corre paralela á los Analcos en su parte occidental desde el meridiano que pasa por el tiro de Rejona, de aquí al E. se inflexiona hacia el N. y va á unirse á la veta Vizcaina. Está en relación con el Cristo por dos vetas poco marcadas en la superficie: una en su extremidad occidental y la otra en la oriental; esta última es muy angosta y forma como un zig zag. Se desprenden del Pabellón dos vetas: una al S. que se pierde pronto al E., y otra al N. llamada Rejona y que va á unirse muy probablemente á Luz de Compuerta.

Como veta muy importante tenemos después la Vizcaina; su marcha es sumamente difícil de seguir por la gran descomposición que ha producido en las rocas que atraviesa. Se divide en dos cuerpos en sus extremidades E. y W.

Como ramales que de ella se desprenden tenemos: al W. de San Rafael, las vetas de Luz de Compuerta ó "El Trompillo," Potosí, Sacramento, y Rosario Viejo; esta última se une á la anterior formando un gran rombo antes de

llegar á la Vizcaina; y al E. del mismo tiro, Cristóbal Colón y Quintanilla al N. y la Malinche al S.

En la región occidental tenemos las vetas de Sta. Ursula, Altagracia y Escandón, de marcha muy confusa.

Y por último, en la región del N. la veta llamada Polo Norte, que corre paralela á la Vizcaina, y está en relación con ella por la veta de "Enmedio" y por una transversal que va á Cristóbal Colón.

Por lo anterior podemos decir que las grietas forman un solo sistema, y que han sido formadas en la misma época.

Para apreciar mejor su marcha, pongo á continuación sus rumbos:

Veta de los Analcos.—De la mina de San Cristóbal al W. rumbo medio 79° S.W.; de San Cristóbal á la intersección E. con la veta de Fresnillo, 79° N.E., y de aquí hasta el lugar en que empiezan las tobas, 60° N. E. Rumbo medio 71° N. E.

La Zorra no presenta inflexiones; rumbo medio 71° S. E.

Veta de Guadalupe, de su desprendimiento de Fresnillo á donde sale Precavida, 70° S. E.; de aquí á donde se une con Cal y Canto, 50° S. E.

Cal y Canto, 65° S.E.

Valenciana, 80° S.E.

Corteza, 60° S.E.

Sta. Rita, 78° N.W.

Veta X, 60° N.W.

Altar, 60, S.W.

San Lorenzo, 71° S.W.

San José el Viejo en su parte recta, 70° S.W.; después forma un arco y se une al Cristo.

Cristo, rumbo medio, 75° S.W.

Pabellón, parte occidental 84° S.W.: parte oriental 65° N.E.

Luz de Compuerta, 57° S.W.

Sacramento, 69° S.W.

Rejona, Potosí y Rosario Viejo forman arcos pronunciados.

Vizcaina, de San Rafael al W., 88° S.W.; al E., 88° N.E.

Cristóbal Colón, 75° N.E.

Quintanilla, 65° N.E.

Polo Norte, 86° N.E.

Como rasgos generales y característicos haremos notar: el paralelismo de las vetas, el alineamiento de las juntas según líneas paralelas (sensiblemente á la veta X), las ramificaciones en haces y la normalidad de los sistemas conjugados.

No puede darse acuerdo más grande con las fracturas producidas en las experiencias de A. Daubreé. (Véase, Géologie experimentale, pg. 310.)

Con el objeto de estudiar las variaciones de echado, hicimos varios cortes de las vetas. El plano adjunto ilustra más que explicaciones verbales.

El echado dominante es hacia el S.; raras veces se dirige al N. como en el Cristo y Rosario Viejo.

Las consideraciones que nos van á servir para buscar la máxima profundidad de las grietas, explican satisfactoriamente el predominio del echado hacia el S.; nos abstendremos, pues, de entrar en más detalles.

Vamos á establecer las fórmulas que deben ser aplicadas.

Supongamos una porción de materia bajo la acción de una fuerza, su centro de inercia en reposo, y la deformación tal, que todo plano paralelo á $(x\,y)$ permanezca paralelo, la deformación paralela á $o\,z$ siendo sólo un cambio de longitud.

Si x, y, z son las coordenadas primitivas de un punto e; x', y', z' las finales, las relaciones lineales que las ligan serán:

$$x' = (1+e)\,x + b\,y;\; y' = ax + (1+f)\,y;\; z' = (1+g)\,z \qquad \text{(Beker).}$$

Estas ecuaciones dan:

$$x = \frac{(1+f)\,x' - by'}{(1+e)\,(1+f) - ab};\quad y = \frac{(1+e)\,y' - ax'}{(1+e)\,(1+f) - ab};\quad z = \frac{z'}{1+g}$$

La esfera $x^2+y^2+z^2=1$, bajo la acción de las fuerzas, se convertirá en un elipsoide. Si cortamos este elipsoide por el plano $(x\,y)$, y por $x\,e'$ y sustituimos los valores anteriores, la elipse resultante tendrá por ecuación:

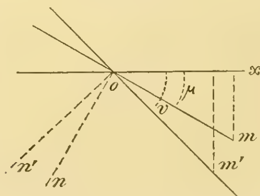
$$[\,(1+f)^2 + a^2]\,x'^2 - 2\,[b\,(1+f) + a\,(1+e)\,]\,x'\,y' + [\,(1+e)^2 + b^2]\,y'^2 =$$
$$= [\,(1+e)\,(1+f) - ab]^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(1).}$$

La ecuación es de la forma $Ax^2+Bxy+Cy^2=P$; por consiguiente, si llamamos v el ángulo que su eje hace con $o\,x$, tendremos:

$$Tang\; 2\,v = \frac{B}{A-C},$$

y sustituyendo,

$$tg\; 2\,v = 2\,\frac{b\,(1+f) + a\,(1+e)}{a^2 - b^2 + (1+f)^2 - (1+e)^2}$$



Sea $o\,m$ la posición inicial del eje de la elipse y $o\,m'$ la final; la figura nos da,

$$tg\;\mu = \frac{y}{x};\quad tg\;v = \frac{y'}{x'};$$

sustituyendo por y', e' x' sus valores, tendremos:

$$tg\;v = \frac{a + (1+f)\,tg\,\mu}{(1+e) + b\,tg\,\mu} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(2)}$$

El ángulo que $o\,n$ hace con $o\,x$ es $(\mu + 90°)$, y el que hace $o\,n'$ $(v + 90°)$, luego

$$- cot\, v = \frac{a - (1+f)\, cot\, \mu}{(1+e) - b\, cot.\, \mu} \qquad (3)$$

Multiplicando la (2) y la (3) y reduciendo

$$tg\, 2\, \mu = -2 \frac{b\,(1+e) + a\,(1+f)}{b^2 - a^2 + (1+f)^2 - (1+e)^2}$$

Cambiando, pues, en la ecuación (1) a por b y recíprocamente, tendremos la ecuación de la elipse antes de la rotación.

El ángulo de la rotación será $v-\mu$ dado por la siguiente:

$$tg\,(v-\mu) = \frac{a - b}{(1+f) + (1+e)}$$

La condición de nó rotación será $a=b$.

Si llamamos A B y C los ejes del elipsoide, A B será igual á

$$(1+e)\,(1+f) - ab; \text{ y } (A \pm B)^2 = [\,(1+e) \pm (1+f)\,]^2 + (a \mp b)^2 \qquad (4)$$

El volumen asumido después de la torción por el cubo unidad, puede ser llamado h^3, y

$$h^3 = A\; B\; C = (1+g)\,[\,(1+e)\,(1+f) - ab] \qquad (5)$$

Si hay rotación sin deformación, los ejes son iguales á 1; h por lo mismo será igual á 1. Entonces por la (4) $e=f$, y por la (5)

$$(1+e)^2 = 1 - a^2;\; tg\,(v-\mu) = \frac{a}{\sqrt{1-a^2}} \text{ ó } sen\,(v-\mu) = a:$$

tal es la condición de la rotación sin deformación.

Si existe deformación y esta es compresión $h < 1$.

En los trastornos orogénicos, la simple presión, y sobre todo la presión inclinada, es muy frecuente.

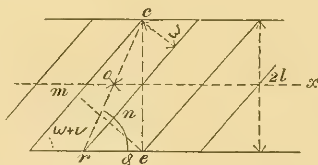
Una presión inclinada es equivalente á una simple presión y á una fuerza tangencial. Si el centro de la masa debe quedar en reposo, la resistencia para ello necesaria y la fuerza tangencial forman un par; si la roca que rodea la masa no es muy resistente, habrá giración hasta que el par sea contrarrestado por la resistencia á esta rotación.

El efecto de la presión sobre los macizos rocallosos es dividirlos en blocs disponiéndose las juntas generalmente en dos series.

Busquemos cual es la máxima separación posible de las juntas.

Sea $2\,\omega$ el ángulo que las dos series de juntas forman entre sí, v teniendo la misma significación anterior. Los planos de máxima deformación tangencial, en los cuales la resistencia viscosa es un mínimo, formarán como $o\,x$ el

ángulo $(\omega + v)$. Si llamamos w la separación de las juntas, la figura siguiente nos da.

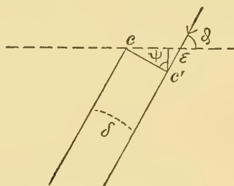


$$m\,n = w = m\,e - n\,e;$$

pero $m\,e = 2\,l \cos(\omega + v)$; $n\,e = 2\,l\,\mathrm{sen}\,(\omega + v) \cot \varphi$;

luego $w = 2\,l \cos(\omega + v)\,[1 - tg\,(\omega + v) \cot \varphi]$..............................(6)

Pero si la fuerza obra bajo un ángulo φ', y ha habido una giración muy pequeña medida por el ángulo δ, la figura anterior se convierte en



$c'\,\varepsilon$ es la distancia medida en la dirección de la fuerza, proporcional á la disminución (despotentalización) de la energía.

La figura da $c'\,\varepsilon = cc' \dfrac{\cos \psi}{\mathrm{sen}\,\varphi}$; δ siendo muy pequeño tendremos:

$$cc' = o\,c\,\delta = \frac{l\,\delta}{\mathrm{sen}\,\psi},$$

luego

$$c'\,r = \frac{l\,\delta}{\mathrm{sen}\,\varphi} \cot \psi$$

La disminución de presión por unidad de longitud de grieta, variará con

$$w\,(c'\,r) = \frac{4\,l^2\,\delta}{\mathrm{sen}\,\varphi} \cos(\omega + v) \left[1 - \frac{tg\,(\omega + v)}{tg\,\psi}\right] \cot \psi$$

Busquemos qué valor de ψ hace máximo w, separación que corresponde á la mayor disminución de la energía por unidad de longitud de grieta.

Según la teoría de los máximos y mínimos, basta buscar los de la función

$$f(k) = cot\ \psi - \frac{tg\ (\omega + v)}{tg^2\ \psi};\ \text{de donde}$$

$$f'(k) = -\frac{1}{sen^2\ \psi} + \frac{2\ tg\ (\omega + v)}{tg^3\ \psi\ cos^2\ \psi}$$

Igualando á cero tendremos:

$2\ tg\ (\omega + v) = tg\ \psi$; por consiguiente el valor máximo de w será,

$$w = l\ cos\ (\omega + v) \ldots\ldots (a)$$

En el caso de dos series de grietas, tendremos:

$$w = (1 - 4\ e)\ cos\ (\omega \pm v) \ldots\ldots (6)$$

Si p y q son los dos valores de w y hacemos $r = \frac{p}{q}$, tendremos siendo $p > q$

$$tg\ \omega\ tg\ v = \frac{r - 1}{r + 1} \ldots\ldots (7)$$

Aceptada la relación de Poisson, tendremos:

$$tg\ \omega = \frac{\sqrt{(2-3\ e)^2 + b^2} - \sqrt{25\ e^2 + b^2}}{2\ \sqrt[3]{(1 + e)^2\ (1 - 4\ e)}} \ldots\ldots (8)$$

$$tg\ 2\ v = \frac{-2\ b\ (1 - 4\ e)}{(1 - 4\ e)^2 - (1 + e)^2 - b^2} \ldots\ldots (9)$$

Sea F. la fuerza que obra bajo un ángulo φ: admitamos que la masa de roca queda apoyada sobre un soporte fijo, y supongamos realizada la hipótesis de Poisson. Si U y Q son las componentes horizontal y vertical, tendremos:

$$U = -F\ cos\ \varphi;\ Q = -F\ sen\ \varphi$$

Las relaciones que ligan las constantes son:

$$e = g = -\frac{Q}{10n};\ f = \frac{4\ Q}{10n} = -4\ e;\ b = \frac{U}{n};\ a = 0,$$

n siendo el módulo de rigidez.

e y g pueden ser expresadas en función de b; la sustitución del valor de Q en función de U, nos da

$$e = g = -\frac{b\ tg\ \varphi}{10}$$

Es sabido que un promedio es tanto más exacto, cuanto mayor es el número de observaciones de las que es deducido; y como los datos recogidos en el

terreno sólo se refieren á una pequeña porción de la sierra, el resultado que se obtenga al hacer la aplicación de las fórmulas establecidas, debe tomarse como una primera aproximación del importante cuanto difícil problema que por primera vez vamos á abordar.

Siendo

$$\omega = 30°; w = 0,65; w' = 0,45.$$

la fórmula (7) nos da:

$$v = 17° 29'$$

Pero como el eje de la elipse hace con $o\,x$ un ángulo agudo negativo, v debe ser tomado con el signo menos.

La ecuación (6) en que entra w, nos da

$$e = 0,083; \qquad 1 - 4\,e = 0,667; \qquad 1 + e = 1,083$$

La fórmula en v, da

$$-0,699 = \frac{2\,b.\,0,667}{0,727 + b^2},\ o'\ b = -1.423 \text{ y } b = -0.5$$

De las fórmulas en U y Q, teniendo presentes los valores de e y b, se deduce

$$tg\,\varphi = \frac{b}{10e}$$

Sustituyendo los valores encontrados, se obtiene para φ, 60° ó 30°: la inclinación de la fuerza ha podido pues variar entre estos límites.

Como

$$e = +0,083; f = -0,332$$

Los ejes del elipsoide siendo A, B y C.

$$A\,B = (1 + e)\,(1 + f) = 0,723 \text{ y } C = 1 + g = 1 + e = 1,083$$

tendremos

$$h^3 = 0,783, \text{ ó}$$

$$h = 0,921$$

Siendo menor que uno, ha habido deformación, y ésta ha sido una compresión.

Como la fórmula que da el valor de $v - \mu$, ángulo de torsión, tiene un valor real, concluimos que además de la deformación hubo torsión.

Hemos comparado nuestro plano del sistema de fracturas, con las grietas que M. Daubrée ha producido por presión y torsión; la semejanza es completa aun descendiendo á los detalles; la igualdad de los efectos nos llevó natu-

ralmente á la identidad de las causas, y las presiones y torsiones aparecieron para nosotros como la causa de las fracturas.

Cuando recorriendo el terreno que ocupaban los mares cretáceos, trata uno de explicarse el alabiamiento y sinuosidad de las capas, la existencia de los mismos esfuerzos se impone, sin que sea posible á la imaginación encontrar otra explicación satisfactoria.

Ahora bien, á las mismas conclusiones hemos llegado por el cálculo. Creemos pués, tener razón bastante para concluir que, los esfuerzos que plegaron los sedimentos cretáceos hicieron emerger la sierra y produjeron sus fracturas, fueron esfuerzos de presión y torsión, las fuerzas obrando con una inclinación de 30° ó 60° y su dirección correspondiendo á la bisectriz del ángulo obtuso que las dos series de juntas forman entre sí.

Para concluir, diremos algo de la profundidad de las grietas.

¿Son estas limitadas con la profundidad?

Es indudable que sí, pues el peso de la roca superincumbente tiende necesariamente á cerrar la fractura.

Averiguar en cada caso particular cuál sea este límite, es ciertamente imposible; el problema se presenta complejo y obscuro, dados los muchos detalles que la solución matemática exige y que la experiencia no ha podido aclarar.

Sin embargo, si tan sólo se trata de buscar un límite máximo, el problema se presenta abordable.

Voy á desarrollar la solución dada por Hockins, basada sobre el límite de elasticidad y máxima dureza de las rocas.

Actualmente se considera la corteza terrestre dividida en tres zonas: zona superior de fractura, zona media de fractura combinada con plasticidad y zoza inferior de plasticidad.

Las experiencias han conducido al autor citado á las siguientes conclusiones:

1ª—En una región cualquiera, si las tres direcciones principales de un macizo de rocas son iguales, una cavidad esférica no puede existir permanentemente si la presión normal excede los $\frac{2}{3}$ del límite de elasticidad de la roca.

2ª—Si dos de las tres dimensiones principales son iguales, una cavidad cilíndrica de considerable longitud, cuyo eje es paralelo á la tercera dirección, no puede existir permanentemente si una de las fuerzas principales iguala $\frac{1}{2}$ del límite de elasticidad ó fuerza de ruptura.

3ª—(Como muy probable).—Ninguna cavidad puede existir cuando la presión normal es superior al límite de elasticidad ó fuerza de ruptura de la roca.

El mismo profesor dice:

La intensidad de la fuerza en un corte horizontal á cualquiera profundidad es igual al peso de una columna de roca, de sección transversal igual á la unidad de superficie y teniendo por altura la distancia vertical del plano á la superficie.

La forma más adecuada que debe tener una cavidad para resistir al cerramiento es probablemente la esférica.

Admitiremos por fuerza de ruptura de las rocas 1,700 kilos por centímetro cuadrado, y por densidad media de la corteza exterior 2, 7 (determinación de G. K. Gilbert).

Como las grietas en la tierra están generalmente llenas de agua, al buscar la profundidad máxima á la cual las cavidades pueden existir permanentemente, es necesario suponer éstas protegidas por la presión hidrostática de una columna de agua alcanzando la superficie; y por consiguiente debe quitarse de la gravedad específica de la roca al determinar la profundidad á la cual el cerramiento debe verificarse.

Bajo la acción lenta de las fuerzas es probable que el agua se escape libremente, y que su viscosidad en las pequeñas grietas no tengan participio.

Si hacemos abstracción de la presión del agua, la máxima profundidad á que puede existir una cavidad será según conclusión (1) $\frac{113400}{27} \doteq 4{,}300$ metros, ó según (3) $\frac{170000}{27} = 6{,}300$.

Si las rocas son porosas, y por lo mismo debe llevarse en cuenta la presión hidrostática, debemos quitar uno á la densidad de la roca (contrapresión). Los cálculos efectuados, se obtiene para (1) 6,667 metros y para (3) 1,000. Para las rocas más duras los números anteriores deben ser aumentados probablemente en $\frac{1}{5}$, y por lo mismo la profundidad máxima será 12,000 metros.

Estas conclusiones no se aplican á las rocas que tienen cavidades llenas de agua; tales cavidades pueden existir á profundidades indefinidas ó á lo menos á una profundidad tal, que el líquido y la roca puedan mezclarse en todas proporciones.

Si por cada 30 metros de profundidad la temperatura se eleva 1° C, á 10,000 metros la temperatura sería de 333°, y como á esta profundidad la presión por centímetro cuadrado es de 2,700 kilos, es muy probable que aun para las rocas más duras, 10,000 metros sean la máxima profundidad á que una cavidad puede existir; ó que si una grieta se produce, se cerrará inmediatamente soldándose los fragmentos de la roca.

La profundidad admitida por Heim es de 5,000; de todas maneras, aunque la mineralización sea posible á las grandes profundidades, el hombre jamás podrá abordarlas, impidiéndoselo no sólo el agua sino también la elevación considerable de temperatura.



VI

DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS.

DESCRIPCION DE LAS ROCAS.

En un capítulo anterior hemos expuesto las ideas generales sobre la naturaleza y sucesión de las rocas de la sierra de Pachuca y del Distrito Minero de ese nombre. Sólo nos resta, para completar la historia de esta región, dar una descripción petrográfica, tan detallada como sea posible, de las rocas eruptivas, reducidas á láminas delgadas.

Un gran número de preparaciones han sido necesarias para llevar á cabo el estudio microscópico tanto por las variaciones macroscópicas observadas en el terreno, como para la determinación precisa de los componentes minerales, pues difícilmente se encuentran ejemplares en los cuales sea posible una buena determinación mineralógica á causa del avanzado estado de alteración de dichas rocas. Los grandes trabajos interiores de las minas de Pachuca nos han permitido tomar muestras de rocas de distintas profundidades, tratando de observar la modificación que pudiera existir; y como por otra parte hemos elegido muestras de roca desde su contacto con las vetas ó fragmentos empotrados en ella hasta de lugares muy distantes, nos han permitido seguir el cambio que pudieron haber sufrido bajo la influencia y durante la formación de los rellenos metalíferos.

Ya hemos dicho que en la superficie del terreno las rocas dominantes del Distrito de Pachuca ofrecen á la simple vista diferencias en estructura, en compacidad, en grado cristalino y sobre todo en coloración; pero por grandes que estas variaciones parezcan, su separación es imposible, pues el paso de unas á otras se hace por gradaciones insensibles.

Esta circunstancia nos hizo suponer desde nuestras primeras investigaciones en el campo, que las rocas que sirven de caja á los criaderos minerales de Pachuca y aun de los otros distritos de la región, como el Chico, Real del Monte, Sta. Rosa, etc., es una sola provenida de un solo conjunto volcánico, y que las diferencias que se observan solo dependen de la nó homogeneidad absoluta del magma de donde proceden y del más ó menos grado de alteración á que han estado sometidas.

En efecto, la observación microscópica nos revela una sola composición mineralógica, variando tan sólo la proporción relativa en que entra cada uno de los elementos y su modo de asociación, además de la mayor ó menor cristalinidad, en la que debemos buscar las condiciones bajo las cuales ha tenido lugar el enfriamiento de las rocas. Ahora, la consideración de que la aparición de estas rocas al exterior ha provenido de un fenómeno enteramente volcánico, explica fácilmente las diferencias observadas en la cristalización.

Las rocas en que arman los criaderos minerales son las más antiguas de la Sierra y son aquellas de las que desde luego nos vamos á ocupar.

Pero antes de dar su descripción, preciso es estudiar de una manera general las causas que pudieron haber influído más directamente para producir su avanzada alteración.

El tipo dominante de la roca fundamental de la sierra es el de las andesitas de piroxena. Asociadas á ellas vienen por transición las andesitas, rocas de estructura casi granulítica que se pueden referir á diabasas andesíticas ó rocas de plagioclasa y piroxena. Por su lado, un cambio en la naturaleza del feldespato, que en microlitas viene en las andesitas para pasar á un tipo más básico, produce labradoritas ó rocas de aspecto basáltico. Estas y las anteriores modificaciones de las andesitas, son por decirlo así, casi casuales y bastante raras, sin que en su presencia se observe ni regularidad, ni ningún hecho digno de mencionarse, ni tampoco es un cambio que tenga á primera vista alguna relación con la profundidad.

Sí creemos posible la suposición de que el tipo ofítico de las diabasas, que algunas veces se presenta, sea un intermediario entre las andesitas y las diabasas de estructura granítica, pero que no siempre se presentan en íntimo contacto ó relación.

De todas maneras debemos suponer que estas modificaciones de las andesitas son únicamente dependientes de las condiciones bajo las cuales ha tenido lugar el enfriamiento de la roca y de la falta de homogeneidad del magma fundido de que proceden. Así, mientras que las andesitas nos presentan sus dos fases de consolidación claras, no sólo por la diferencia de cristalización y de residuo amorfo, sino por la corrosión química de los elementos cristalizados en el primer tiempo; en las diabasas esta distinción es menos clara, y la casi completa cristalización del magma denuncia una época prolongada de lento enfriamiento, con formación sucesiva de cristales en condiciones homogéneas para no permitir una enérgica reacción de la parte últimamente consolidada, como se observa generalmente en las andesitas de Pachuca.

El estudio de los fenómenos de alteración adquiere en el caso de las rocas de Pachuca una importancia capital desde el momento en que dicha alteración tiene lugar de una manera tan general, y que los resultados no siempre conducen al mismo fin como regidos por una ley. Esto hace sospechar desde luego que son varias las causas que han intervenido en estos cambios y que han obrado con diferente intensidad y diversamente combinadas.

Parece natural suponer, y esto de acuerdo con algunos autores, que cierto

género de alteración de los minerales de las rocas ha sido iniciado desde antes de su completa consolidación, y que están ya así preparados para sufrir más fácilmente los cambios que tienen lugar después bajo la influencia de otros agentes.

Los minerales principales de estas rocas, los feldespatos y las piroxenas así como el magma que los empasta, han sido con más ó menos intensidad sometidos; primero á la acción de los agentes exteriores, segundo á lo que pudiéramos llamar acciones interiores y que han obrado solamente en determinados tiempos, y tercero á las acciones dinamometamórficas. Todos estos factores han obrado diversamente combinados y ayudándose mutuamente para producir las transformaciones ya en el orden puramente físico ó ya por acciones químicas.

En la superficie obra como agente más enérgico el agua con su gran poder de disolución, cuando como es frecuente, viene saturada de ácido carbónico. Esta acción de las aguas que sustrae de las rocas ciertos elementos como la cal, puede hacer á las rocas sensiblemente más porosas y facilitar así las reacciones para la formación de ciertos minerales más bien que aceptar para su origen el transporte mecánico; pues se supone, por ejemplo, que la presencia de la epidota, que es tan frecuente en los feldespatos alterados, es debida á la reacción de los bisilicatos tales como la piroxena sobre dichos feldespatos, ó más bien de la clorita procedente de la alteración de la piroxena sobre feldespato cuya cal haya sido segregada bajo la forma de carbonato.

Los esfuerzos dinámicos para producir las grandes fracturas en esta roca abiertas, que obedecen á direcciones determinadas, se han hecho sentir hasta en los elementos componentes de las rocas, y las han preparado así por soluciones de continuidad á la penetración en su masa de aguas termales ó atmosféricas.

Hemos dicho que las aguas disuelven en parte los feldespatos, sustraen la cal y otros elementos y queda por último un residuo que bien podemos referir al kaolin. Esta transformación de las plagioclasas en productos arcillosos y calcita es muy frecuente en las rocas superficiales de Pachuca en lugares que reciben un gran contingente de aguas atmosféricas.

En las rocas profundas la calcita es un poco menos abundante cualquiera que sea su distancia á las vetas.

Para explicarnos la diseminación de la clorita en toda la masa de la roca bajo la forma de manchas irregulares ya en el magma ya en los cristales de feldespato, aceptando que la clorita procede exclusivamente de la alteración de la piroxena, seríanecesario suponer, con Becker, [1] que la clorita poseía una gran solubilidad.

En las rocas verdes de Pachuca el resultado de la alteración de la piroxena es la formación de la clorita, calcita y cuarzo, dominando la clorita, laque transforma completamente el mineral al grado de ser muy difícil su identifi-

1 Geology of the Comstock Lode.

cación, pues es sólo reconocible por la forma octogonal de sus secciones basales observada en un pequeño número de casos.

El papel disolvente de las aguas atmosféricas queda comprobado á causa del ácido carbónico que siempre llevan, como lo demuestran los análisis que hemos hecho de las aguas extraídas de algunas de las minas de Pachuca.

Becker supone que para las rocas de Washoe ha entrado también como reactivo para la descomposición de las rocas el ácido sulfhídrico, el que ha intervenido á su vez en la formación de las piritas que vienen siempre en las rocas alteradas. En Pachuca, las piritas se presentan, como ya hemos dicho, en gran abundancia en rocas muy alteradas bajo la forma de pequeños cristales en la proximidad de las vetas, pirita cuyo origen parece más bien estar en relación con la formación de las vetas y es contemporánea de las piritas argentíferas de las mismas vetas.

La epidota es muy abundante en las rocas de la superficie del terreno y puede encontrarse lo mismo en los feldespatos que en las piroxenas, con ó sin cloritas; pero en general dominando en los feldespatos, en los que se ve bajo la forma de agujas ó pequeños granos agrupados en el centro de los cristales.

En algunos lugares de la superficie, como en las faldas del cerro de la Magdalena, cerca de la mina del Tulipán, encontramos andesitas verdosas con abundantes cristales muy pequeños de epidota en las superficies de juntura de las rocas, asociada á diminutos cristales de cuarzo. Esta asociación del cuarzo y la epidota es también frecuente en el seno de los cristales de feldestapo en la masa de la roca.

La diferente coloración que presentan las rocas de Pachuca, está en relación con el diferente grado de alteración, pues que la oxidación aireal de ellas da lugar á rocas coloridas en violado, rojo y rosado, colores que dominan exclusivamente en la superficie. La descomposición de los bisilicatos en cloritas da lugar naturalmente á rocas verdosas que son las dominantes en las rocas del interior de las minas de los Distritos de Pachuca, el Chico y Real del Monte. Unas veces encontramos la piroxena alterada en óxido de fierro y otras en clorita; pero estos modos de altèración diferentes no proceden de que la piroxena sea parda ó verde como en otros casos sucede, sino del diverso grado de alteración para la misma piroxena verde que es la dominante. La descomposición aireal de la clorita daría lugar á la formación de cuarzo, carbonato de cal y óxidos ferruginosos, lo que permite á veces hacer una fácil distinción entre las rocas de la superficie y las de la profundidad. Es de notar que en rocas muy oxidadas de la superficie es muy raro encontrar la epidota como en las rocas violadas y rojas de cerca de Pachuca, como si la epidota sufriese á su vez una análoga descomposición.

En la proximidad de las vetas, en la región de Pachuca, las rocas en que se ha transformado parte de sus minerales en óxido rojo de fierro, pasan á óxidos hidratados que dan á la roca una coloración amarillenta. Esto es el resultado del agua que impregna á estas rocas, pues que las aguas meteóricas en su infiltración se detienen largo tiempo en contacto con los respaldos,

ó es en este lugar donde se acumulan para infiltrarse más fácilmente por las vetas. Por otro lado, contribuye á dar á la roca el color amarillento la pirita de los respaldos que sufre alteraciones.

Entre las acciones que han sufrido las rocas para cambiar su aspecto original tenemos que indicar la que proviene exclusivamente del relleno de las fracturas, y es la silicificación de dichas rocas durante la impregnación de las aguas calientes mineralizadoras que circulaban en las grietas. Es indudable que las rocas eran notablemente permeables á las aguas para permitir la penetración, durante la cual se precipitaba el cuarzo en pequeños granos en el magma, de pequeñez comparable á la de los elementos microlíticos. Así por ejemplo, hay rocas microlíticas en las que la presencia de una pasta de apariencia microfeldsítica, formada á expensas de las aguas silizosas, adquieren una completa apariencia de dacitas. En otras casi toda la masa de la roca ha sido sustituída por el cuarzo que se encuentra entonces en grandes playas; en otras encontramos calcedonia y en más raros casos el ópalo.

En las pequeñas y numerosas grietas de las rocas, la circulación de las aguas ha dejado un depósito cuarzoso en venillas, y esto es lo que caracteriza á las rocas de la proximidad de las vetas.

En muchos casos, en las rocas profundas, la única diferencia que se encuentra entre las rocas distantes y las vecinas á las vetas, es una diminución paulatina y gradual de la sílice que impregna el magma, al partir de la roca misma del respaldo.

Esto, que se observa al microscopio, se puede comprobar á la simple vista en el terreno, pues la roca del respaldo se halla atravesada por numerosas venillas de cuarzo que se cruzan en todas direcciones, y las cuales van disminuyendo tanto en número como á veces también en espesor á medida que se aleja uno del respaldo.

En los trabajos de investigación en las minas se prevé la proximidad de las vetas por la silicificación de la roca, la abundancia de las venillas de cuarzo y la presencia de abundante pirita.

La transformación de las rocas en arcillas y esteatita es un fenómeno que depende en parte de las acciones dinamometamórficas de la región que han producido en las rocas una avanzada trituración. En efecto, dominan las rocas arcillosas en las regiones donde se han verificado movimientos y deslizamientos, como en la región de las minas de Barron y Santa Gertrudis, en donde se ha probado que existen movimientos susceptibles de producir gruesas guardas en las vetas y transformar las rocas en arcillas á distancia relativamente grande del filón.

Se comprende desde luego que las diferencias en dureza, aspecto, coloración, etc., de las rocas dependen de las alteraciones que en grado variable se manifiestan en ellas y de la importancia que ha tenido cada uno de los agentes que hemos considerado.

Dadas estas ideas generales, pasemos á dar la descripción de los tipos

principales de las rocas de Pachuca, que encabezamos con los términos siguientes:

Diabasa andesítica.
Andesitas de piroxena.
Rhyolitas y obsidianas.
Labradoritas y basaltos.

Diabasa andesítica.

Son muy pocos los ejemplares que de este tipo encontramos en la Sierra de Pachuca y en muy limitada extensión. La diabasa menos alterada se presenta en el camino real de Omitlán á Real del Monte.

La roca en masa es de color verde obscuro. Al microscopio se resuelve en un agregado cristalino de plagioclasa en secciones irregulares y algunos cristales microlíticos con ausencia completa de materia amorfa. La piroxena es muy abundante en secciones, en general muy alteradas y transformadas en clorita; unas secciones conservan la forma del cristal y otras están en manchas irregulares. Las plagioclasas son difíciles de determinar á causa de su alteración, pues ofrecen una polarización de agregado. La roca tiene también grandes cristales de feldespato que la dan apariencia porfiroide, y son de labrador, macleados algunos de ellos según la ley de la albita y la periclina; los cristales microlíticos también son de labrador. La piroxena es sólo reconocible por la forma de las secciones, pues su transformación en clorita es completa; frecuentemente asociada á la calcita. Manchas de este mineral se ven igualmente en el agregado cristalino del magma y en el interior de los grandes cristales de labrador. Estos, que definen la primera consolidación, lo mismo que los de la piroxena, ofrecen una avanzada corrosión por el magma de segunda consolidación, y á expensas de cuya corrosión se originaron las secciones irregulares cristalinas que forman la mayor parte de la roca.

La magnetita se encuentra en pequeñas secciones en el magma granudo, ó bien en inclusiones en los cristales de piroxena, en los que está en granos pequeños, que parecen provenir como residuo de la transformación en clorita.

De la mina de La Cabaña, en el primer cañón, hemos colectado una roca de color verde obscuro de grano fino, que se encuentra en lajas cruzadas en todos sentidos por delgadas venillas de cuarzo y calcita. Se halla cerca de la veta de Cabaña.

Al microscopio se resuelve en un agregado cristalino de feldespato, en general sumamente alterado, de piroxena alterada en clorita y amoldando á los cristales de feldespato. Se encuentran también diseminadas agujas negras que parecen ser de piroxena alterada en productos ferruginosos, pues que vienen con frecuencia asociadas con cristales de piroxena alterada en substancia verde.

Accidentalmente, y en espacios muy limitados, encontramos una modificación de la estructura normal de las andesitas, que producen rocas de estruc-

tura ofítica con muy escasa materia intersticial. Esta forma de estructura debe considerarse como la intermediaria entre la granítica, que vemos en un reducido número de casos en las rocas de Pachuca, y la estructura microlítica de todas las andesitas, por más que aquellos dos primeros grupos igualmente designados como diabasas no estén directamente subordinados y no abarquen muy grandes extensiones.

Quizá no hubiéramos hecho la separación de diabasas ofíticas por su semejanza á las andesitas muy cristalinas ó de magma completamente microlítico, si no fuera por el gran desarrollo que adquiere la piroxena de segunda consolidación en cristales de magnitud semejante á la de los cristales feldespáticos de aspecto microlítico que forman la pasta de la roca.

Desgraciadamente la grande alteración de estas rocas no permite, ni para la piroxena ni para los feldespatos, su exacta determinación, pues la transformación en clorita ó en producto verde, como la viridita, de composición nó exactamente determinada, es completa; y el cuarzo y calcita son sumamente abundantes como producto de descomposición.

La mayor parte de este cuarzo libre parece ser exclusivamente un producto obtenido á expensas de la descomposición de los minerales constituyentes, pues en efecto, lo vemos en pequeñas secciones rodeado de una envoltura de feldespato nó alterado, ó como formando un núcleo en los cristales de piroxena ya alterada en productos verdes.

La proporción de sílice que contienen estas rocas es por término medio de 63 por ciento.

Los puntos donde se presentan estas rocas son: En el Mineral del Chico, en el camino de la población á la mina de La Aurora, pasa insensiblemente á las andesitas verdes de la región. En la barranca del Rosario cerca del tiro de La Palma, de color verde á la simple vista; en la mina de Barron en un crucero en el cañón 320; al lado de las andesitas viene un tipo muy cristalino comparable á las diabasas ofíticas; es una roca de color negro muy compacta. En algunos otros puntos de Pachuca se presentan estas rocas siempre como una transición hacia las verdaderas andesitas.

Andesitas.

Andesitas de Piroxena—Es de gran interés el estudio de las andesitas del Mineral de Pachuca y de la sierra en general, no sólo por las amplias variaciones que en la estructura microlítica se presentan, sino aun por los distintos aspectos que á las rocas imprimen y la manera como se ha verificado la alteración de los minerales.

En otra parte de este trabajo hemos hecho notar ya la importancia que este grupo de rocas ofrece en la región por la vasta extensión de terreno que cubren y hemos establecido una subdivisión fundada en los distintos aspectos macroscópicos que ofrecen dichas rocas. Veremos como estos aspectos responden naturalmente á fenómenos dependientes de estructura y alteración.

Entre las andesitas menos alteradas y que podrán dar idea del tipo genuino de las rocas de Pachuca, mencionaremos desde luego aquella que domina en la barranca del Rosario, que presenta además la particularidad de ser casi holocristalina, microlítica, y la que podría confundirse con una roca de estructura ofítica; tanto así se ha desarrollado la estructura microlítica, pues apenas puede decirse que contiene pequeños espacios de magma amorfo.

Es de color verde, porfiroide por la presencia de grandes cristales feldespáticos diseminados en la pasta que alcanzan hasta 0^m01 de longitud. Al microscopio se define como un agregado microlítico de oligoclasa en macles simples según la ley del macle de la albita, con extinciones vecinas á la de su longitud. Existen también cristales microlíticos de labrador que referimos á la primera consolidación, por más que debido á la alteración que comienza á presentarse en la roca, no se pueda hacer clara la distinción.

Vense también cristales microlíticos y granos de augita de color amarillo á la luz natural, con policroismo sensible y conteniendo inclusiones de óxido negro de fierro. La alteración en algunos cristales, sobre todo en los de grandes dimensiones y de primera consolidación, ha consistido en la formación de granulaciones opacas agrupadas, que conservan imperfectamente la forma del cristal. En el magma se observa cierta polarización de agregado que dificulta bastante la determinación precisa de las microlitas. Muy raras secciones de cuarzo de primera consolidación se ven también diseminadas. Los grandes cristales feldespáticos han sufrido en parte un cambio en espato calizo, así como un estado de fracturamiento debido á acciones mecánicas. Estos cristales son probablemente de labrador.

La proporción media de sílice en estas rocas es de 63,8 por ciento.

Las andesitas que parecen tener una distribución mayor en la sierra de Pachuca son las que presentan una coloración verde obscura característica, que han sido designadas desde hace mucho tiempo con el nombre de rocas verdes ó de pórfidos verdes, nombre que se ha aplicado á rocas semejantes pero que no presentan el color verde bien marcado.

Estas andesitas verdes se caracterizan muy bien por la escasez de óxido negro de fierro en el magma, por la naturaleza de la alteración de las piroxenas y por la presencia de la epidota como producto secundario en el seno de los feldespatos. Todas estas rocas son compactas, más ó menos porfiroides y no afectan en el terreno una estructura particular, si no es en grandes bancos separados por grietas generalmente orientadas paralelamente á los grandes planos de fractura de la región. En Real del Monte estas rocas verdes adquieren su mayor extensión abarcando casi todo el distrito.

Láminas de rocas procedentes de varios puntos de aquel Mineral, nos dan uniformente al microscopio un magma microlítico, con finas microlitas que á veces acusan una estructura fluidal, no siempre visible á causa de la profunda alteración del magma que pasa á un agregado confusamente polarizado, en el que se destacan por su fuerte coloración granos y cristalitas de piroxena de segunda consolidación alterados las más veces en un producto verde á la

luz natural. Los granos se hallan profusamente distribuídos en el magma como fragmentos que resultan de la desagregación de la piroxena; otra parte se presenta en cristales que conservan aún su forma y los vivos colores de polarización que les son propios, y por último, granos y agrupaciones de granos de epidota en las manchas verdes, como procediendo de ellas por una alteración más avanzada. Las finas microlitas del magma, ya simples, ya macleadas, presentan generalmente la extinción casi recta de la oligoclasa.

La más profunda alteración reside en los elementos de primera consolidación que dan á estas rocas el aspecto porfiroide á causa de sus grandes dimensiones. Los feldespatos han sufrido intensas acciones mecánicas que se traducen en infinidad de finas grietas transversales, en general, al alargamiento de los cristales y en fuertes dislocaciones. Estos cristales de labrador á veces presentan los macles de la albita y de Carlsbad combinados. En su mayoría se hallan transformados en calcita, en manchas irregulares dentro del cristal y granos de epidota; haciendo notar que este mineral existe aun en cristales que no contienen ni calcita ni clorita procedente de la piroxena. Los grandes cristales de piroxena se hallan completamente alterados en clorita, espato calizo y epidota, y se observan en ellos inclusiones opacas de óxido de fierro. Raras veces se encuentran en esta roca cristales de cuarzo de primera consolidación y cuando existen se hallan con ella en gran parte corroídos por el magma.

Junto á la población de Real del Monte cerca del paraje llamado "El Hiloche" se encuentran tipos de rocas como las que acabamos de describir. Cuando la transformación de la piroxena en clorita es completa, se ve este mineral con un color azul obscuro intenso, con los nicols cruzados. Los raros cristales de cuarzo corroido por el magma presentan una auréola ó una franja de polarización de agregado, indicando la reacción del magma sobre el cuarzo. Algunos de los grandes cristales de feldespato, algo más frescos aunque sumamente agrietados, dan en las secciones normales á g_1 la extinción característica de un feldespato labrador básico.

Una alteración más profunda cambia estas rocas verdes en rocas de color verde amarillento, como la del Rosario que hemos descrito antes, ó como en la roca de cerca de la mina de La Blanca en la región de Santa Gertrudis. El magma microlítico se carga de abundante cuarzo en pequeñas secciones, la piroxena de color amarillento á la luz natural, da en los bordes de las secciones un producto ferruginoso casi opaco, y los grandes cristales de piroxena y feldespato de primera consolidación se hallan más completamente transformados en cuarzo, calcita y epidota.

Las rocas verdes que dominan en el Distrito Minero del Chico, y que forman la caja de las vetas de aquella región, tienen un aspecto poco diferente de las del Real del Monte y solamente se distinguen por ser menos porfiroides y de grano generalmente más fino. Buenos tipos de esta roca se encuentran en el camino que va de la población del Chico á la mina de la Aurora, en contacto con la diabasa ofítica citada.

Cuando las rocas verdes del Chico se aproximan á los crestones de las vetas pasa lo que ya hemos dicho en general para las andesitas de otros lugares de la sierra de Pachuca: pierden compacidad, aumentan en su masa los cristales de pirita, el magma se silicifica y los feldespatos tienen una tendencia marcada á transformarse en arcilla. En este caso se encuentran también las andesitas verdes que se cortan en la vereda de San Julio á Pachuca, cerca de la veta de los Analcos, en las que además de presentarse abundantes secciones de cuarzo de primera consolidación, viene la epidota en gran cantidad en la masa de la roca y en pequeños cristales tapizando los planos de juntura.

En el camino que va de Pachuca á la mina del Rosario, en los acantilados que están próximos á la veta de los Analcos, encontramos una roca rojiza bastante porfiroide, caracterizada por la gran cantidad de epidota formada tanto en la piroxena como en el interior de los cristales de feldespato. En el camino á la mina de San Pedro encontramos rocas muy cargadas de epidota con transformación avanzada á espato calizo y clorita en la piroxena.

Otro grupo de andesitas de piroxena se caracteriza macroscópicamente por una coloración gris, que varía del gris verdoso hasta el violado y rojizo, y que al microscopio revela que la procedencia del color es debida al género de alteración de la piroxena, que es el de la transformación en óxidos negros y rojos de fierro; en el primer caso, el óxido negro de fierro, poco diseminado y concretado al cristal que conserva en gran parte su forma, y en el segundo, diseminado más ó menos en el magma, y provenido de la desintegración de los cristales.

Estas rocas son muy abundantes al N. de la veta Vizcaina, formando los cerros que se levantan más allá de las minas de San Rafael, Camelia y Sto. Tomás, hasta las peñas de Buenavista, y se prolongan hacia el N.W. hasta las montañas de los Órganos de Actopan en los minerales de Sta. Rosa y Tepenené. Son muy porfiroides, con cristales feldespáticos, hasta de $0^{m}.01$ de longitud, diseminados en la pasta. Los cristales de piroxena, que resaltan igualmente en la pasta por su color negro ó pardusco, tienen á veces una longitud de $0^{m}.01$ á $0^{m}.012$. Por otra parte, el grano y la superficie más ó menos áspera, recuerdan el aspecto de las traquitas.

Habríamos separado estas rocas de las anteriormente descritas, como formando parte de otra erupción ó de otro período de erupción, si no hubiéramos encontrado con frecuencia pasos insensibles de éstas á las rocas verdes, no sólo en la coloración macroscópica, ciertamente de escaso valor, sino en la transición visible al microscopio de la alteración de productos verdes á la de óxidos ferruginosos. Ya hemos indicado también en otro lugar que las rocas de color gris y violado conservan este aspecto hasta muy corta profundidad.

La roca procedente de cerca del nacimiento de la barranca del Rosario, de color gris ligeramente violado, presenta al microscopio un magma de polarización confusa, formado en su mayor parte de finos granos de cuarzo y de

microlitas de feldespato casi completamente alteradas en cuarzo y calcita, lo que impide determinar con exactitud su naturaleza.

Del cuarzo del magma, parte es provenido por la alteración del magma y de los feldespatos, y parte debe ser considerado como de penetración; es decir, depositado por aguas silizosas que impregnaron á la roca, lo que se comprueba por la existencia de nidos y venillas de cuarzo en secciones más grandes. Los grandes cristales de plagioclasa se hallan también casi totalmente transformados en cuarzo y en calcita, y muchos cristales de piroxena han sido más ó menos reabsorbidos (fig. 5, lám. V). Este último mineral solamente es reconocible por la forma octogonal de sus secciones basales y por los cruceros que en porciones muy pequeñas se han salvado de la alteración.

Una roca de la barranca llamada de Texinca, al pie de la mina de San Pedro, es semejante á la anterior; contiene grandes secciones de cuarzo de primera consolidación corroídos por el magma, y la transformación de los cristales feldespáticos en calcita es muy completa y la roca se halla atravesada por venillas de este mineral. En esta roca, granos microlíticos de piroxena están completamente alterados en óxidos ferruginosos bajo la forma de agujas, que durante la desintegración de los cristales se diseminan en el magma.

Dacitas.—En muchas de las andesitas violadas del N. del Distrito, la abundancia de cuarzo de primera consolidación y la existencia de un magma microfeldsítico, á la vez que microlítico, obliga á hacer la separación de una variedad ácida de andesitas ó sea *dacitas*, bien características en los cerros inmediatos al pueblo de Cerezo, en los cerros de Santa Úrsula, al N. de la mina de San Rafael, en las peñas de Buenavista, etc., en donde llama desde luego la atención la gran cantidad de cuarzo en cristales que macroscópicamente se observan.

La pasta de estas rocas, más resistente á la desintegración que el grupo de andesitas no cuarcíferas, da lugar á peñas salientes y á acantilados, como por ejemplo, la de Buenavista, pequeños acantilados en el cerro de Sta. Úrsula, en Tepenené y Órganos de Actopan.

Hay que hacer notar que estas rocas dacíticas se hallan á veces inmediatas á las rhyolitas, como cerca del pueblo de Cerezo, ó como en el cerro de San Cristóbal y cerro de los Cubitos, inmediatas á las labradoritas. En el primer caso, parece que con las erupciones de rhyolita vinieron aguas silizosas que han impregnado de sílice estas rocas.

Además de la piroxeda vienen algunos cristales de biotita de color pardo con igual grado de alteración que la piroxena. En lo que respecta á la naturaleza de los feldespatos, es enteramente igual á la de los feldespatos de las no cuarcíferas antes mencionadas.

En una andesita cuarcífera del cerro en donde está la mina de Soledad, se pueden observar claramente microlitas feldespáticas con extinción recta, macleadas, que referimos á la oligoclasa. Los grandes cristales están casi completamente alterados en calcita. La del Puerto de la Palma, en Tepenené, presenta una estructura fluidal bien marcada y se caracteriza, como la de las

peñas de Los Frailes en los Órganos de Actopan, por traer además de la piroxena abundantes secciones de biotita muy alterada, cristales de labrador de primera consolidación y cuarzo muy abundante (fig. 2, lám. V).

Andesitas cuarcíferas, casi dacitas, muy semejantes á las anteriores, encontramos también arriba de la mina de San Manuel. En las faldas de la Sierra, cerca del Chico, casi en la barranca del río de Velasco, se ven rocas con menos cantidad de cuarzo y de biotita volviendo casi al tipo normal de andesitas violadas.

Roca notablemente silizosa es la que se encuentra en la Peña del Zumate en Real del Monte formando brechas. El magma microlítico se halla notablemente penetrado de cuarzo y subdividido en lagunas por venillas de cuarzo. Existen en esta roca grandes cristales zonados de feldespato y abundante piroxena en secciones opacas. La roca se halla vecina á las rhyolitas que abundan en las grandes alturas de Real del Monte.

En los contrafuertes occidentales del cerro de San Cristóbal, enfrente del pueblo de San Bartolo, encontramos también rocas cargadas de sílice de aspecto análogo á las anteriores, solamente que sus feldespatos de primera consolidación están sumamente agrietados por acciones mecánicas. La piroxena viene en pequeños cristales, reabsorbida, y en agujas diseminadas en el magma, y por último, el magma es una mezcla confusa de magma amorfo, microlitas macleadas de extinción casi recta y cuarzo en pequeñas secciones, á veces como magma feldsítico.

En la parte alta de las montañas dèl Chico, casi en la base de las Monjas, se encuentran andesitas violadas formadas de finas microlitas de oligoclasa en un magma más ó menos impregnado de sílice. La piroxena se halla transformada en un producto ferruginoso, ligeramente transparente y de color rojo pardusco. Los feldespatos de primera consolidación se hallan agrietados y con estructura zonada, unos de labrador y en menor número de oligoclasa. El magma contiene finas microlitas de piroxena relativamente poco alteradas.

Andesíticas augíticas de piroxena.—Un tercer grupo de andesitas de piroxena vamos á considerar ahora, y son aquellas que presentan á la simple vista un aspecto basáltico bien claro. Son en general, de color negro que varía al rojizo ó al violado en aquellos casos en que se hace sensible su paso á los tipos anteriormente descritos. Se caracterizan estas rocas negras por presentar en el magma gran cantidad de óxido negro de fierro en pequeños puntos diseminados, y más ó menos abundancia de piroxena en finas microlitas. Las microlitas del feldespato de segunda consolidación pertenecen en muchos casos á oligoclasa básica y no á oligoclasa de extinción recta, como en las rocas anteriores. Son igualmente notables por presentar á veces en cantidad relativamente abundante, cristales de primera consolidación de una piroxena rómbica, la bronzita, con su habitual alteración en bastita; y es de notar que aquellas rocas andesíticas que traen la augita en el magma bajo la forma de cristales microlíticos, son las que más frecuentemente traen entre los ele-

mentos de primera consolidación la piroxena rómbica. Son rocas menos porfiroides macroscópicamente, muy compactas, de grano fino, forman grandes acantilados y se dividen en lajas delgadas con planos de separación paralelos á la dirección de las vetas metalíferas y en direcciones transversales, aunque con menos claridad, de manera que la roca se divide en blocks paralelipipédicos. Ocupa una extensión considerable en el Distrito de Pachuca, y en el cerro de San Cristóbal forma los hermosos acantilados y rocas desprendidas de esta elevada montaña. Se encuentra también en los cerros de Rejona, Sta. Polonia, etc. El grabado puesto al principio de este trabajo, que representa una vista de la ciudad de Pachuca, tomada por el Sr. Celestino Alvarez, da una idea de los acantilados que forman la barranca de San Cristóbal.

En la parte N. de Pachuca existen también barrancas escarpadas formadas por esta roca, como la del Pabellón y la que se extiende entre las minas del Pabellón y de El Bordo que une los contrafuertes del cerro de San Cristóbal con el cerro de Rejona.

Una roca procedente de los acantilados del lado oriental del cerro de San Cristóbal es de color negro agrisado, porfiroide, con cristales fesdespáticos grandes, coloridos en verde claro. Al microscopio se resuelve en un magma amorfo, en partes polarizado confusamente, con el aspecto que tienen los magmas de ciertas lavas. En esta parte, se hallan diseminadas microlitas muy finas de piroxena, ligeramente coloridas en verde á la luz natural, y muy finos puntos de magnetita. Abundan microlitas muy finas cuyo conjunto afecta á veces una estructura fluidal, y de estas microlitas solamente una parte se extingue en dirección vecina á su longitud. Unas y otras microlitas vienen generalmente macleadas y alargadas según $p\ g_1$.

La augita es abundante en cristales de primera consolidación, alargados según $h_1\ g_1$, de color verde amarillento á la luz natural, y frecuentemente alterada en clorita, lo que la ha hecho perder en gran parte sus cruceros. Una parte de la augita, muy ferrífera, sufre en estas rocas una alteración por la cual pasa á un agregado de puntos ferruginosos como la augita que se presenta en las rocas andesíticas violadas. La augita verde se halla en parte reabsorbida y contiene inclusiones vítreas y otras de una materia opaca.

El feldespato de primera consolidación, que es oligoclasa, está sumamente agrietado y ha sufrido una especie de schillerización; pues contiene abundantes inclusiones regularmente distribuídas en las secciones á más de que las grietas irregulares unas veces ó transversales á su alargamiento otras, se hallan llenadas por una materia verdosa que parece ser de epidota ó de clorita, pues es muy análoga á estos minerales que á veces se encuentran en el interior de las secciones en granos irregulares ó como la materia verde cloritosa que forma los cristales de augita. Las secciones paralelas á g_1 de estos cristales (fig. 1, lam. V.) ofrecen muy claras zonas de crecimiento, con ángulos de extinción que varían en límites muy reducidos, con la extinción en los bordes característica de una andesina.

La roca de los acantilados que forman las paredes de la barranca del Cris-

to, abajo de la mina de San Buenaventura, presenta un aspecto semejante á la anterior pero con la alteración llevada á un grado más avanzado. En efecto, el magma amorfo y microlítico polariza más confusamente y no deja descubrir la forma de las microlitas, y aun parece que el magma amorfo fué dominante; las microlitas de piroxena son muy finas, llegando hasta formas cristalíticas en gran abundancia; en las manchas se observan partes en las cuales una alteración del magma en una materia ferruginosa opaca ó de una coloración parda obscura á la luz natural, contrastan con partes más límpidas de la preparación y explican las manchas rojizas que se observan en la masa de la roca á la simple vista.

La piroxena de primera consolidación se halla más transformada en clorita y aun puede ser en viridita, es decir, un producto de serpentinización. Los feldespatos de igual tiempo aparecen transformados en un producto arcilloso con manchas verdes de clorita y es de notar que tanto en el feldespato como en la piroxena, hay ausencia completa de calcita y de epidota. En lugares próximos á las vetas estas rocas más alteradas se ven atravesadas en todos sentidos por venillas de cuarzo.

Algunas de las rocas de esta región contienen cristales de andesina muy corroídos por el magma (fig. 3, lam. V.)

Rocas de la barranca entre las minas del Pabellón y del Cristo ofrecen una ligera variación de color, pues son negro violadas, manchadas de rojo, y constituyen una simple variedad de la anterior, como lo revela el examen al microscopio. En efecto, la única distinción consiste en que la augita, tanto en microlitas como en cristales, se halla en parte alterada en óxidos ferruginosos opacos. Algunos cristales de primera consolidación, de color verde á la luz natural, ligeramente policroícos, presentan un reborde negro opaco que avanza más ó menos en el interior del cristal. En estas rocas es sensible la transición de las rocas augíticas negras á las rocas verdes que hemos descrito al principio.

Algunas veces se encuentran agrupaciones de cristales de piroxena en nidos, en la masa de la roca, cristales en general muy alargados en el sentido de la zona h_1 g_1 y con tendencia á formar macles en cruz como los de la hiperstena. Un ejemplo de esto damos en la lam. V., fig. 4, tomado de una roca de los acantilados que quedan frente á la mina del Pabellón. En la piroxena de las rocas de este grupo, que se halla más transformada en cloritas y que presenta una estructura en fibras regularmente paralelas á la longitud de los cristales prismáticos, aunque no da una extinción uniforme, hay cierta tendencia á extinguirse bajo ángulos de 5° á 12°. Rocas procedentes de cerca del Pabellón y del corte natural entre dicha mina y la de El Bordo, cerca de las vetas que cruzan esta región, contienen cuarzo de penetración en el magma y aún algunos cristales de cuarzo de primera consolidación que están atacados por dicho magma.

Junto á la veta de Luz de la Compuerta, la roca en lajas que ahí se presenta es de color violado claro y procede de la alteración de las rocas negras

de la región, también en lajas. Se diferencia tan sólo en la completa descoloración de los cristales de piroxena y en su casi completa transformación en óxido negro de fierro en finos puntos que agrupados conservan la forma del cristal, demostrando que la producción de óxidos de fierro es un estado avanzado de la descomposición de la piroxena verde y que dichos óxidos de fierro pueden provenir de la descomposición de la clorita.

Es notable en todas estas rocas negras la pequeña cantidad de calcita como producto de descomposición y esto hace su principal distinción con las rocas verdes y violadas.

En la prolongación N. W. del cerro de San Cristóbal se encuentran acantilados formados de rocas del mismo aspecto, así como las que se extienden más allá de la barranca de los Leones y en los cerros vecinos al socavón del Zembo, al N. W. del Distrito de Pachuca.

En una gran parte de la barranca del Rosario y en un buen tramo de la barranca de Texinca, se presentan igualmente las rocas augíticas negras con estructura en lajas delgadas y formando acantilados que en general no alcanzan la altura ni la importancia de los del cerro de San Cristóbal; las rocas estudiadas al microscopio presentan caracteres muy semejantes. Sin embargo, una roca de la parte superior de un salto cerca de la Presa de San Nicolás, en lámina delgada deja ver con débiles aumentos una mezcla irregular de dos magmas bastante vítreos, y como en grandes bandas fluidales; el uno, claro, sembrado de microlitas muy finas de plagioclasa de extinción casi recta y cristalitas de piroxena; y el otro, de color ligeramente pardo, más denso, muy cargado de microlitas de piroxena y de una aglomeración de finas globulitas que lo hacen aparecer aún más opaco. Esta mezcla de magmas se nota en la roca aun á la simple vista, pues en la pasta negra que es la dominante, se perciben bandas angostas de color rojo pardusco. Por otra parte, los feldespatos de primera consolidación, bastante frescos, se hallan notablemente agrietados, con las grietas rellenadas de hematita roja por transparencia. Estos feldespatos son de labrador en macles múltiples de la albita.

Abajo del tiro de Precavida, en lugar próximo al anterior, la roca es menos vítrea, con un fino tapiz de microlitas simples ó macleadas, con extinción recta. Los feldespatos y la piroxena de primera consolidación son escasos; aquellos están sumamente corroídos por el magma que lleva finas secciones de magnetita.

Una roca negra sumamente augítica se encuentra inmediata á la mina de Texinca; es de grano fino y notablemente fresca en apariencia, los cristales de piroxena y de feldespato se hallan muy alterados en epidota con algo de calcita.

De las múltiples variedades y aspectos que ofrecen las andesitas de piroxena en la superficie del terreno, una sola variedad se encuentra al partir de un cierto límite abajo de la superficie, límite generalmente variable para diferentes puntos de la sierra pero que en general no excede de 50 á 60 metros. En efecto, en los extensos trabajos interiores de las minas las alteraciones que

ofrecen las rocas por la influencia de los agentes superficiales, tales como la oxidación de los compuestos ferro–magnesianos y del fierro del magma, que también se hidrata, van desapareciendo poco á poco; las rocas de color violado ó pardo pasan insensiblemente al verde claro. Entonces los feldespatos siempre aparecen transformados en productos arcillosos y en epidota como en las rocas verdes superficiales; las piroxenas, en clorita y epidota, y el magma, en un producto, tal vez simplemente arcilloso, sin más caracteres microscópicos que una fina polarización de agregado, que se complica por el fino cuarzo de penetración que caracteriza en muchos casos á las rocas de la proximidad de las vetas, así como por la presencia de pirita más ó menos abundante y casi sin alteración. En el magma de las rocas verdes profundas, sobre todo cuando no están muy impregnadas de sílice, tanto el feldespato como la piroxena conservan los contornos de sus cristales; en el primero, las láminas hemitrópicas se perciben, aunque no muy claramente, cuando la transformación en epidota ó calcita no ha sido completa. Respecto á la transformación del feldespato en calcita es, por regla general, menos frecuente en estas rocas de la profundidad que en las de la superficie. Tenemos un buen ejemplo de rocas verdes en la mina de Dificuldad del Real del Monte á los 386 metros de profundidad.

En Pachuca, en el tiro de Cristóbal Colón, á cosa de 80 metros de profundidad, la alteración del magma de la roca no es muy avanzada y se descubren en partes las microlitas de labrador muy finas, la piroxena no indica transformación en epidota y los feldespatos están en su mayor parte bien conservados ó con pequeñas manchas de calcita. Igual aspecto presenta la roca del inmediato tiro de Quintanilla de casi la misma profundidad. En la mina del Pabellón la roca tiene un aspecto brechiforme porque la silicificación del magma no es completa y quedan espacios ó lagunas de magma casi no alterado.

Poco diferentes en aspecto de las ya citadas son las rocas del interior de la mina del Porvenir, las del socavón de Calderona de junto á la veta del Cristo, con magma microlítico bien conservado; y con la piroxena transformada en óxido de fierro y epidota, en la roca de los respaldos de la veta del Encino. La roca que forma los respaldos de la veta de Calicanto es en general indeterminable á causa de su avanzada alteración, y á unos cuantos metros de distancia, en un crucero para comunicar las vetas de Calicanto y Guadalupe, la roca es extraordinariamente fresca, con hermosas playas de oligloclasa, microlitas con extinción recta del mismo feldespato agrupadas en bandas fluidales y granos de cuarzo sumamente corroídos, lo mismo que algunos de feldespato.

En el tercer cañón de la mina La Zorra los respaldos de la veta son de una brecha andesítica con los fragmentos cementados por cuarzo; en el tiro de Rejona la roca contiene, como en algunas de las anteriormente citadas, numerosas venillas de cuarzo en todas direcciones.

Rocas procedentes de los respaldos de la veta Vizcaina no ofrecen en gene-

ral ninguna peculiaridad que las distinga de las anteriores. Solamente hay lugar aquí á mencionar la presencia de la bronzita en algunas de las rocas superficiales, que como un elemento accesorio acompaña á la augita y que sólo se observa en los ejemplares menos alterados.

La frescura excepcional de una roca tomada en la mina de Sto. Tomás de cerca de 100 metros de profundidad, permite ver una augita, de mil vivos colores de polarización y algunos cristales de bronzita alterados en un producto verde análogo á la bastita.

En la mina de Barron, en el cañón 320, se encuentra una roca verde muy semejante á la de la mina de Sto. Tomás, notable también por la abundancia de la bronzita en cristales delgados y alargados, con extinción longitudinal y compuestas las cristalitas de fibras paralelas á los lados prismáticos interrumpidas por grietas transversales. El color de este mineral á la luz natural es verde claro ó amarillento con policroísmo poco sensible. El estado fibroso de los cristales demuestra el cambio de este mineral á la bastita. Tanto en esta roca como en la de Sto. Tomás se encuentran abundantes microlitas y granos de piroxena en el magma.

Podríamos citar y describir suscintamente rocas de muchas otras minas, y aun de una sola mina á distintas profundidades, pero no lo creemos necesario por tener absoluta identidad con las que ya hemos mencionado, y por otra parte no hay cambio ó modificación sensible en el aspecto de las rocas á las diversas profundidades de donde hemos adquirido muestras.

Rhyolitas y Obsidianas.

Cuando hubo terminado la época durante la cual se sucedieron con gran actividad las repetidas erupciones andesíticas que determinaron la formación de la parte principal del relieve de la sierra de Pachuca, y que se hubo también iniciado la poderosa erosión que tuvo por efecto el desgaste de la cima y el principio de la forma topográfica de este macizo, nuevas conmociones del suelo tienen lugar, se abren de nuevo comunicaciones con el interior que dan paso á corrientes numerosas de lavas caracterizadas por su naturaleza notablemente silizosa. Es claramente perceptible en estas rocas su disposición en corrientes quizá más acentuada por la estructura cintada que en muchos lugares se percibe.

Tres zonas principales consideraremos donde las rhyolitas se presentan con extensión considerable y con caracteres algo diversos: la zona rhyolítica comprendida entre los Distritos de Pachuca y El Chico, la de Real del Monte, y la más extensa, la que ocupa el extremo S.E. de la sierra de Pachuca.

Al hablar de las rhyolitas tenemos que hacer la misma observación que para las andesitas en lo referente á su estructura: es decir, que varía desde un estado muy avanzado de cristalinidad, con una estructura semejante á la de las *nevaditas* norte-americanas, hasta un estado enteramente vítreo, el de las obsidianas que son tan comunes en la última región de rhyolitas que hemos

designado. Pero mientras que en las andesitas la estructura ha sido definida quizá con la intervención de causas profundas, la variación en las rhyolitas parece ser la consecuencia exclusiva de las condiciones de enfriamiento y de la forma de la erupción, realizada en un caso lentamente por anchas grietas (Volcanic Fissures) á la manera de las andesitas, y en el otro por verdaderas chimeneas como en nuestros volcanes actuales, con paroxismos violentos, abundantes proyecciones de cenizas y grandes bombas volcánicas que enfriadas bruscamente nos proveen ahora de masas de obsidiana empotradas en los bancos de rhyolitas ó de tobas; pues en efecto, bajo la forma de masas arredondadas y dispersas como las encontramos en la región comprendida entre las haciendas del Guajolote y Cuyamaloya en el extremo de la sierra, donde las sucesivas corrientes de lava rhyolítica viscosa han dado lugar á la formación de mamelones y domas que caracterizan á los lugares llamados Peñas del Xacal, del Aguila, etc., y las domas del Chililete y otros de notable belleza, cuando son observados á distancia.

Las rhyolitas más próximas á la ciudad de Pachuca, se extienden no muy lejos al N. de la veta Vizcaina y sobre ellas descansa el pueblo de Cerezo. La área ocupada por estas rocas no es muy extensa, pues abarca en la dirección N. S. sólo unos 1,500 metros, y de E. á W. 2,000 metros formando la totalidad de la montaña que se levanta al N. de las minas de El Bordo y Sta. Ana. Hacia este lado, en el arroyo, se ve á las rhyolitas cubrir á las andesitas en que arman las vetas, y del lado N., cerca de la cresta de la sierra, están en contacto en algunos lugares con las brechas andesíticas de Las Monjas y de La Sabanilla. En la vertiente opuesta de la sierra, enfrente del Mineral del Chico, vuelven á encontrarse las rhyolitas en no grandes extensiones y cubriendo de igual manera á las andesitas verdes en que arman las vetas de este Distrito.

Las rhyolitas de esta región son generalmente de color rosado, con abundantes cristales de cuarzo y feldespato diseminados, que alcanzan hasta $0^{m}008$ de longitud. El microscopio revela un magma petrosilizoso claro, con abundantes inclusiones opacas agrupadas definiendo bandas sinuosas; el cuarzo está notablemente corroído por el magma lo mismo que el feldespato, que presenta abundantes inclusiones vítreas. Existen también numerosas secciones de augita en gran parte reabsorbida.

A la vez que la augita, se encuentran en las rocas pequeñas laminillas de mica biotita igualmente reabsorbidas. En la roca de las canteras de Cerezo, de color un poco más claro, de grano fino, de aspecto traquítico, con abundante mica biotita, y más alteradas, pues que muchos de los cristales de feldespato, que son en su mayor parte de sanidino, se hallan transformados en espato calizo y cuarzo; en estas rocas además del magma petrosilizoso se encuentran lagunas cubiertas de cuarzo granudo. Finas y abundantes esferolitas radiantes de cruz negra se agrupan en regueros fluidales y la presencia de esferolitas es lo que distingue á la roca de las canteras de Cerezo de las rhyolitas de la parte superior del cerro cerca de la mina del Bordo. En la parte

del magma donde abundan las esferolitas se encuentran agujas opacas probablemente de augita alterada. Algunas rhyolitas de color gris de las canteras, no contienen feldespato de primera consolidación sino en muy pocas secciones, lo mismo que de cuarzo, pues domina en lo absoluto la segunda consolidación y son un poco más vítreas que las anteriores.

Una rhyolita de color rojo notablemente esferolítica se encuentra á media altura del cerro. Esta estructura domina sobre el magma petrosilizoso, pues las esferolitas se tocan mútuamente. Estas se componen de feldespato en fibras radiantes, de polarización que no siempre responde á su longitud, y la estructura radiante se hace más perceptible por llevar dichas esferolitas fibras ó finas arborizaciones. Algunas veces las esferolitas tienen como núcleo ó parte central un cristal de sanidino, ó bien un pequeño cristal de mica biotita, que á veces abunda en esta roca.

Cerca del contacto entre las rhyolitas y las andesitas en el cerro mencionado, y en su ladera S., las rhyolitas rosadas se ven á la simple vista con manchas más ó menos grandes é irregulares de color verde intenso. En estas rocas el microscopio deja ver la misma estructura rhyolítica, y en los pequeños intersticios de magma petrosilizoso que quedan entre los grupos de esferolitas, se pueden ver curiosas cristalitas, ya longulitas, ya triquitas, de formas variadas, y aun otras con cierta semejanza con las arborizaciones que radian del centro de las esferolitas. Parece probable que tanto las cristalitas como las arborizaciones sean de piroxena, pues puede reconocerse en las más grandes longulitas. Respecto á las manchas verdes que tiene la roca, al microscopio se resuelven en agregados cristalinos de fibras casi radiantes de color verde hierba y con muy ligero dicroismo. Los cristales de piroxena de primera consolidación de esta roca presentan manchas en su interior del mismo color y del mismo aspecto como si se tratara del mismo mineral.

En el límite de las rhyolitas de esta región y en el contacto casi con las andesitas violadas que forman la base del cerro, se encuentran rhyolitas rosadas que se cargan gradualmente de una materia verdosa, ya incrustada en pequeñas cavidades sin forma cristalina aparente y con aspecto semejante al ópalo, ya formando parte de los cristales de piroxena como un producto de alteración y pareciendo una clorita. Cuando se presenta llenando cavidades y en venillas ó grietas de contracción presenta poca acción sobre la luz polarizada.

Junto con estas rhyolitas que cambian de color hasta llegar á ser enteramente verdes, aparecen rocas que tienen la estructura de brechas rhyolíticas por el estado fragmentario de los cristales de primera consolidación y el aspecto de agregación del magma. En el cerro que queda enfrente de la mina de San Rafael, entre esta mina y el pueblo de Cerezo, se encuentran igualmente brechas y tobas rhyolíticas semejantes á las ya citadas, las que ocupan muy limitado espacio; son de color verde y presentan una estructura en masa en delgados bancos sobrepuestos, ó en lajas. Estas porciones ocupadas por brechas rhyolíticas y rodeadas, ya por rhyolitas, ya por andesitas, parecen ser los

restos de depósitos de tobas que han sido removidas por la avanzada erosión á que ha estado sometida la región, desgaste bien visible en otros lugares de la sierra de Pachuca, sobre material de desagregación relativamente fácil, tobas ya de naturaleza rhyolítica ó andesítica.

En el camino que conduce del pueblo de Cerezo á la Sabanilla y al Mineral del Chico, se encuentra, cruzando el camino, un dique de cerca de un metro de espesor que corta con dirección muy sinuosa á las rhyolitas que se extienden en dicha región. Este dique está formado en su mayor parte de una roca de color blanco verdoso, muy vítrea y con numerosos cristales de cuarzo profusamente diseminados y algunos pequeños cristales de sanidino, y á veces secciones de biotita alterada en clorita y epidota (fig. 6, lam. V). Su magma, micro–feldsfítico, con finas granulaciones opacas, se extiende en bandas fluidales sinuosas. No hemos visto pasar este dique más allá del campo de rhyolitas, y algunos otros de menor importancia se observan también en diversas partes del camino.

En las vertientes opuestas de la sierra, enfrente del Chico, se encuentran también rhyolitas en la base de las Monjas, es decir, en contacto con las brechas andesíticas en la parte superior y con las andesitas en la parte inferior. Dichas rhyolitas son muy semejantes á las de Cerezo y abarcan menor extensión de terreno que éstas; ya son muy petrosilizosas, ya notablemente esferolíticas y son también de color rojo y rosado.

Cerca de la cima del cerro de San Cristóbal de Pachuca y enfrente del pueblo de San Bartolo, se encuentran, junto con dacitas, rhyolitas blancas compuestas de un magma feldsítico bien desarrollado que casi llega á tener la estructura de las nevaditas, abundantes cristales de cuarzo bipiramidado y numerosas pajillas de mica negra biotita. Esta roca es empleada en Pachuca como material de construcción de buena calidad á causa de su dureza y labrado fácil. Nevaditas de un aspecto enteramente análogo hemos visto en el cerro de los Cubitos, muy inmediatas, como en el cerro de San Cristóbal, á las labradoritas.

En las montañas vecinas á la hacienda de Chicavasco, región ya del grupo de montañas de los Organos de Actopan, se encuentran rhyolitas rojizas muy esferolíticas, con bandas de semiópalo.

Ya dijimos que en la región del Real del Monte son abundantes las rhyolitas en la parte alta de las montañas de aquella localidad, y son características por tener su pasta más cristalina que la de las rhyolitas antes citadas.

En efecto, cerca de la mina de Nevada, existe una roca de color blanco ligeramente verdoso, con abundantes cristales de cuarzo en un magma feldsítico bien desarrollado. Es de notar que en esta roca los cristales de feldespato de primera consolidación no son abundantes.

Las andesitas metalíferas de este importante distrito minero así como el sistema de vetas S.–W., han sido cortadas por diques de rhyolita, de los cuales uno es bien visible cortando la veta de Escobar y dislocándola. La roca de este dique es de color blanco, semejando en su aspecto una verdadera nevadi-

ta. En la peña del Aguila, rhyolitas de color gris traen numerosos cristales de cuarzo, sanidino, oligoclasa y laminillas de mica con penetraciones en el magma, de calcita.

En los cerros que quedan al frente del pueblo de Azoyatla, y que forman el límite del pequeño valle de ese nombre en la vertiente occidental de la sierra, se encuentran rhyolitas muy esferolíticas semejantes á algunas de las vecinas al pueblo de Cerezo. Dichas esferolitas se hallan empastadas por un magma muy cargado de cuarzo y esferolitas muy feldespáticas.

El cerro que separa el valle de Azoyatla del pequeño valle de Sta. Gertrudis, llamado cerro de Bartolomé de Medina, se halla formado, en su mayor parte, de rhyolitas relativamente vítreas, con abundantes cristales de sanidino; son rocas de color rosado como las rhyolitas de las canteras de Cerezo.

Las rhyolitas del extremo S. E. de la sierra se extienden en una grande superficie y forman, por sí solas, los altos cerros de las Navajas, de Los Ingleses y los grandes acantilados de Providencia, Peñas del Xacal y el Aguila. Son de color generalmente gris, afectan en el terreno una estructura á manera de corrientes, ó bien en lajas delgadas que les dan á veces una estructura columnar. Al microscopio se ven compuestas de un magma petrosilizoso en el cual nadan granos y finas microlitas de piroxena de color amarillo verdoso á la luz natural. En este magma, raras veces, se encuentran cristales de primera consolidación y playas pequeñas é irregulares de cuarzo y feldespato, que demuestran una enérgica reacción del magma sobre estos cristales primitivamente formados, pues, para el cuarzo se observa claramente cómo ha sido disuelto al rededor de cada playa de este mineral, dando una porción de magma más cargado de sílice, y cerca del feldespato á su vez, el magma menos silizoso y manchas de feldespato de aspecto rojizo indican una fuerte corrosión. Los cristales de feldespato conservados tienen los caracteres del sanidino.

Poco á poco estas rocas rhyolíticas, que aun á la simple vista dejan ver las bandas fluidales petrosilizosas, se van haciendo más vítreas, pierden compacidad y se convierten en tobas deleznables muy pomozas, que cubren ahora la base de los grandes acantilados y las pequeñas hondonadas; algunas veces dispuestas en capas delgadas y envolviendo grandes blocks arredondados de obsidiana de variados aspectos y matices, en los que dominan las obsidianas negras, translucientes en los bordes. Cada block de obsidiana se halla envuelto por numerosas capitas, delgadas y concéntricas, de tobas y de pomez.

Esta roca vítrea ofrece, por otra parte, todas las fases de desvitrificación. Las hay enteramente vítreas, de estructura perfectamente concoidea, con abundantes cavidades y poros gaseosos, que dan á la obsidiana su hermoso lustre sedoso y semi-metálico, y otras con globulitas, longulitas y triquitas [1]. Las

1 Para una descripción más completa de las obsidianas de esta región véase "Mem. de la Soc. Cient. A. Alzate" Tom. VI, pag. 33. E. Ordóñez. Algunas obsidianas de México.

fracturas de contracción en estas rocas les dan generalmente un viso plateado característico.

La obsidiana con triquitas y burbujas, citada por Rosenbusch en su Microscopical Phisiography, procede, probablemente, del cerro de las Navajas.

Según reza la tradición, y á juzgar por los vestigios que se encuentran en el cerro de las Navajas, los antiguos mexicanos tuvieron allí una activa fábrica de espejos, cuchillos y lanzas de obsidiana.

Labradoritas y Basaltos.

Las últimas rocas ígneas que aparecieron durante las erupciones de la sierra de Pachuca, han tenido por representantes á las labradoritas y basaltos, en corrientes muy numerosas, en general de poca extensión, y en diques de muy limitada longitud. Se encuentran los basaltos muy diseminados en dicha sierra, y en general son más abundantes en los flancos orientales. Estas erupciones se han propagado en grande escala en las regiones montañosas y llanuras inmediatas á la sierra, como ya lo hemos hecho notar al hablar de la mesa del Grande y de la barranca de Regla, en el capítulo consagrado á la Geología general de la región.

Nos proponemos ahora dar alguna idea de las rocas básicas que se abren paso á través de las andesitas metalíferas, constituyentes principales de la sierra de Pachuca, y mencionar como uno de los lugares más importantes bajo este punto de vista el cerro de San Cristóbal, enfrente de la ciudad de Pachuca, elevada montaña que se halla coronada por un pequeño casquete de labradoritas. Este afecta la forma de una V de brazos orientados, el uno casi de E.–W., el otro con dirección S.W.–N.E. y de mayor longitud. Descansa sobre rocas andesíticas muy cargadas de sílice, verdaderas dacitas, y aun en parte casi sobre rhyolitas, más ó menos alteradas en el contacto á causa de la temperatura de esta lava durante su escurrimiento, é impregnada de sílice la andesita bajo las acciones hidrotermales consiguientes á la erupción de las rocas básicas, como se demuestra, en efecto, por la presencia de la sílice en las labradoritas, ya bajo la forma de petrosílex en el magma, ya aislada bajo la forma de tridymita. Dichas labradoritas presentan en la superficie variadas coloraciones entre el negro agrisado y el rojizo, pasando de uno á otro de una manera insensible, y en cuanto á estructura y composición son notablemente semejantes.

La extensión de la corriente, sin dejar de haber sido muy pequeña y escurrir con lentitud, ha quedado muy reducida á consecuencia de la erosión sumamente activa que, por la posición de la roca coronando una montaña elevada de muy fuerte pendiente, ha facilitado el despedazamiento de la roca; además, las grietas de contracción han permitido la separación de los fragmentos diseminados en los taludes de la montaña.

Felizmente algunos trabajos mineros practicados en las faldas del cerro de San Cristóbal, han permitido apreciar la importancia de esta roca y estudiar

la diferencia que en la estructura hayan podido introducir las diferentes condiciones en que tuvo lugar el enfriamiento.

Las labradoritas de color negro agrisado de la cima del cerro que están generalmente en lajas delgadas, llevadas al campo del microscopio aparecen formadas de un magma amorfo incoloro con tendencias á la completa desvitrificación, sembrado de numerosas microlitas filiformes de piroxena, de color amarillento, y pequeñas y numerosas secciones cuadradas, ó granos irregulares de magnetita. En este magma se encuentran afectando algunas veces una estructura fluidea, numerosas microlitas igualmente filiformes de labrador, ya simples ó ya macleadas según la ley de la albita, y con extinción máxima de 30° en dos láminas hemitrópicas en la zona $p\ g_1$. Los dos tiempos de consolidación no son manifiestos sino por la presencia de la augica en cristales no muy bien desarrollados y de pequeña talla, raras secciones de hornblenda reabsorbida, y cristales de anortita de formas microlíticas, muy alargados y macleados, de extinción en $p\ g_1$ de más de 50°, y extinción en la zona de simetría de más de 40°. Las labradoritas negras, como las que acabamos de describir, raras veces contienen tridymita y son rocas muy compactas. Los cristales de augita son muy frescos, con los cruceros prismáticos claros y con muy pocas inclusiones. El macle común de la piroxena (cara de unión según h_1) se presenta algunas veces. En algunos ejemplares de estas labradoritas el mineral dominante de primera consolidación es la hornblenda en cristales en parte reabsorbidos, con núcleo central de color amarillo anaranjado á la luz natural y con dicroismo bien marcado.

Las labradoritas de color rosado manchado de negro, de la cima del cerro de San Cristóbal, no afectan en general estructura particular en el terreno y contienen numerosas cavidades tapizadas de láminas de tridymita apiladas ó entrecruzadas, y en más raros casos de cristobalita en cristales octaédricos muy raras veces macleados. En estas geodas también se encuentran á veces laminitas muy finas de hematita y agujas probablemente de hornblenda.

Las diferencias de color con la roca gris de la misma localidad provienen de que el magma transparente está en parte manchado de amarillo sucio, y á que ésta tiene gran cantidad de augita en granos y cristalitas de color amarillo y aun amarillo rojizo un poco más intenso; el fierro es un poco más abundante. Numerosas porciones de la roca están tapizadas de tridymita, y aun en partes parece ser el único constituyente del magma de la roca; sin embargo, su procedencia como un producto de formación inmediata no puede ponerse en duda, aunque es probable que la producción de este mineral comenzó antes de la completa consolidación de la roca. La tridymita aparece formando un tapiz con secciones exagonales, ó casi circulares, debidas al contacto mutuo de las laminillas y con débil polarización.

En esta roca se encuentran á menudo nidos de piroxena en cristales agrupados, y los feldespatos de primera consalidación son escasos y generalmente corroídos.

Algunos de los cristales de feldespato de primera consolidación, apenas

distinguibles por las láminas hemitrópicas, presentan una polarización peculiar y una subdivisión en secciones semejantes á la de la tridymita, lo que da lugar á pensar en una transformación por alteración del feldespato en tridymita; pues á veces es difícil distinguir el feldespato así subdividido en secciones de forma casi exagonal, de las lagunas cubiertas de tridymita. Probablemente se trata de un caso análogo al de la andesita de augita de Grad-Jakau en Java, citado por Rosenbusch (Microsc. Phis. pág. 174), en la que la tridymita se presenta probablemente, dice, como producto de la descomposición del feldespato.

Es indudable que las labradoritas del cerro de San Cristóbal, habiéndose presentado bajo la forma de una corriente, han sufrido un enfriamiento relativamente rápido atestiguado por la pequeñez de los elementos de segunda consolidación, no trayendo aún la roca ni muchos, ni bien desarrollados elementos de una primera consolidación, dada la forma microlítica de los cristales feldespáticos. Pero en la misma roca que no alcanzó á desparramarse, por decirlo así, en la superficie, se consolidaron en un solo tiempo todos los feldespatos, siempre bajo formas alargadas microlíticas que vinieron á ser posteriormente empastados por la piroxena en el último momento de la consolidación, no quedando más que muy escaso residuo de materia intersticial en la cual se encontró una pequeña cantidad de sílice bajo la forma de tridymita. En efecto, la roca básica encontrada en un gran tramo del túnel de Prosperidad, abierto en la falda occidental de dicho cerro de San Cristóbal, revela esta modificación de una misma roca bajo diferentes condiciones de enfriamiento. La roca tiende hacia una estructura claramente ofítica, á un *hábitus* dolerítico, bien marcado; la designación de dolerita le convendría muy bien si este término lo aplicamos á un estado más avanzado de cristalinidad de las rocas del tipo común de los basaltos y labradoritas, á cuya composición química responde propiamente.

Por otra parte, la situación del túnel y el aspecto de la roca demuestran hasta la evidencia que la dolerita y la labradorita son una misma roca, evidencia que se hace absolutamente completa con la presencia de la tridymita en condiciones enteramente análogas de formación y á título siquiera sea en parte de desvitrificación de un magma relativamente ácido.

Una diferencia perceptible tanto microscópicamente como en los análisis químicos es la proporción de fierro en las rocas, pues la del túnel exhibe al microscopio grandes secciones de hematita á la vez que se ven diseminados cristales alterados de olivino que no vienen, ó son muy raros, en las labradoritas de la cima.

La proporción de sílice en estas rocas es:

Túnel de Prosperidad.		*Cima de San Cristóbal.*	
Sílice	55.63	Sílice	55.67

LAMINA VI

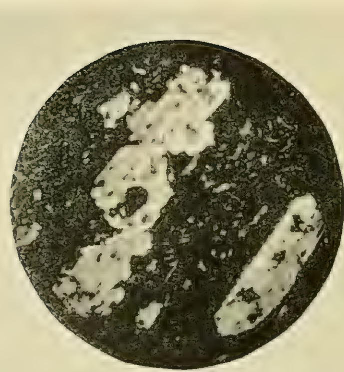
1



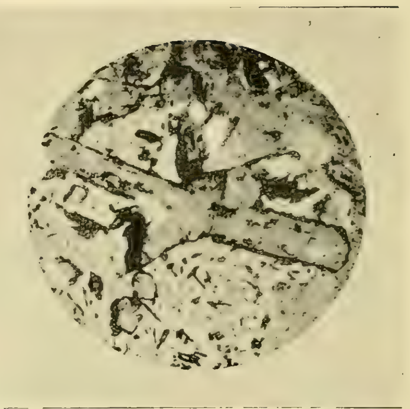
2



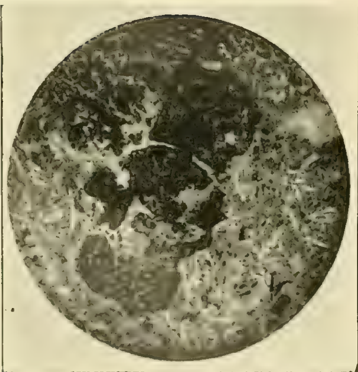
3



4



5



6

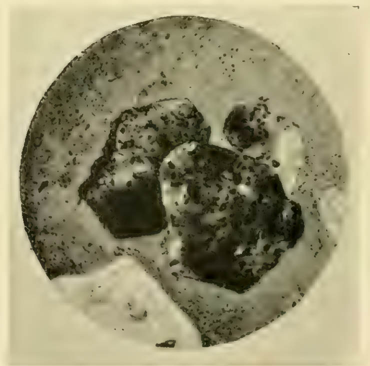


LÁMINA V.

Figura 1.—Sección g_1 de un cristal de oligoclasa.—Luz pol. nicols cruz.—12 diám.—Andesita augítica de piroxena.=Falda oriental del cerro de San Cristóbal.—Pachuca.

Figura 2.—Cristal de labrador.—Luz pol. nicols cruz.—15 diám.—Dacita de los Organos de Actopan.

Figura 3.—Cristales de andesina corroídos.—Luz pol. nicols cruz.—20 diám.—Andesita de piroxena.—Barranca del Cristo.—Pachuca,

Figura 4.—Cristales de augita. (Macle en cruz semejante al de la hiperstena.)—Luz nat.—15 diám.—Andesita augítica.—Acantilados frente á la mina del Pabellón.—Pachuca.

Figura 5.—Cristales de augita alterados y reabsorbidos.—Luz nat.—15 diám.—Andesita de augita.—Barranca del Rosario.—Pachuca.

Figura 6.—Secciones *p* de biotita alterada en clorita con inclusiones de pequeños cristales y agujas de epidota.—Luz nat.—20 diám.—Rhyolita en diques cerca del pueblo de Cerezo.

VII

EXPLOTACIÓN DE LAS MINAS.

EXPLOTACION DE LAS MINAS.

Muchos crestones de las vetas de Pachuca se presentan de una manera muy clara y marcada debido á que la matriz dominante está constituída por cuarzo, substancia capaz de resistir la acción de los agentes de la dinámica externa. En muchos la mineralización empieza desde la superficie, siendo suficientes estas dos circunstancias para haber llamado la atención de los primeros exploradores y para decidirlos á emprender desde luego obras de explotación cuyo desarrollo hacía conocer la marcha del yacimiento, é indicaba las obras que debían ejecutarse para efectuar el disfrute del mineral en condiciones más fáciles y económicas.

En los crestones de la veta de los Analcos y del Encino, se nota que la explotación se hacía primitivamente por el método llamado "á tajo abierto;" pues en el primero se ve aún el tajo, en parte abierto y en parte rellenado en la mina de San Cristóbal y en sus inmediaciones; y en el segundo, en la mina del Tajo, así llamada por haber sido trabajada según dicho método.

Continuando el metal á la profundidad, y permitiendo la topografía del terreno la apertura de socavones, cuando la profundidad de los tajos hacía difícil la extracción del mineral, se procedió á la apertura de socavones, que en combinación con aquellos permitían el disfrute del mineral en los niveles superiores al de los socavones.

En la mina de San Cristóbal se ven labrados y *salones* antiguos que manifiestan la gran concentración de mineral en esta región vecina de la superficie. Pero son más notables todavía los comidos de San José el viejo y de Humboldt sobre la veta del Encino; teniendo el primero una anchura de 120 metros y 170 de profundidad desde la superficie; el segundo se alcanzó con un pozo á los 30 metros de profundidad; llega hasta el cañón de San Lorenzo (250 metros de la boca del tiro de Dolores) y hay partes en que tiene 200 metros de anchura.

Continuando la riqueza á niveles inferiores al de los socavones, se procedió á la apertura de planes sobre la veta para continuar el disfrute del metal, y muchos de estos planes, más y más profundizados, llegaron á convertirse en

tiros de arrastre por los cuales se hacían los servicios de extracción y desagüe hasta profundidades de 150 y 200 metros á partir del nivel de los socavones.

Muchos de estos tiros seguían la continuación de la zona mineralizada; por ejemplo el de San Miguel en la mina del Rosario, en el cual se ven algunos bancos con metal y varios rellenos inmediatos al tiro. Algunos bancos han sido explotados recientemente y reemplazados por mampostería y varios rellenos dan una ley costeable.

Los inconvenientes propios á los tiros de arrastre y la necesidad de luchar desde los 200 metros y aun menos con grandes cantidades de agua, así como el disfrute completo de las partes ricas cercanas á la superficie, hacen que en la actualidad no se labren ya tiros de arrastre en Pachuca, sustituyéndolos por tiros verticales abiertos en el alto de la veta y que vayan á cortarla á los 200 ó 300 metros, alcanzándola á niveles diferentes por cruceros más ó menos grandes. De esta manera se preparan para la instalación posterior de aparatos poderosos de extracción y desagüe, que podrán ser empleados en las mejores condiciones de seguridad y economía.

Por lo expuesto se ve que la explotación de las minas de Pachuca ha pasado por tres períodos distintos: el de tajo abierto en combinación con socavones; el de tiros de arrastre labrados próximamente sobre la línea de mayor pendiente de la veta, y el de tiros verticales abiertos en el alto; y que el paso de un período á otro ha sido, en cierto modo, indicado por las necesidades mismas de la explotación y las condiciones de la localidad.

Las dimensiones de los tiros varían con el objeto á que se destinan; generalmente se les da una sección de 6′ × 12′ ó de 7′ × 14′, ó lo que es igual $1^{m.}80 \times 3.60$ ó 2×4; pero hay algunos de mayores dimensiones.

El cuadro siguiente da las profundidades y secciones de algunos tiros de los más importantes, tomadas de los planos de las minas.

NOMBRE DE LOS TIROS.	Cotas referidas á S. Juan.	Profundidad.	Largo.	Ancho.	Servicio á que están destinados.
Bordo	+ 274.40	392.18	......	......	Desagüe.
Camelia	+ 138.50	316.50	4.00	2.00	Extracción.
San Rafael	+ 183.00	391.00	4.50	3.00	Idem y desagüe.
Sta. Lucía	+ 155.00	340.81	......	......	”
Zotol	+ 126.50	351.00	6.00	3.50	” ”
Cristo	+ 135.00	306.50	......	......	”
Socorro	+ 21.73	240.00	......	......	” ”
Tulipán	+ 38.27	258.42	......	......	”
Zorra	— 13.52	197.00	......	......	” ”
San Juan	— 1.30	274.70	5.00	3.00	” ”
San Nicolás	— 18.30	253.00	......	......	”
Rosario	+ 118.57	377.25	......	......	”
San Pedro	+ 167.79	504.12	5.00	3.50	” ”
Purísima	+ 61.52	261.96	......	......	” ”
Barron	+ 130.87	300.00	4.00	2.50	”
San Carlos	+ 108.61	330.00	3.50	2.50	” ”
San Juan (Sta. Gertrudis)	+ 29.20	260.00	3.25	1.40	” ”
San Guillermo	+ 150.97	425.00	4.25	1.70	” ”
Dolores Encino	+ 224.20	333.75	......	......	”
San Anselmo	+ 124.75	240.00	......	......	”
Carmen	....	308.00	4.88	2.13	Desagüe.

Las minas de alguna importancia están servidas por dos tiros ó más; pero generalmente los servicios de desagüe y extracción se hacen por uno mismo dividido en dos compartimientos.

Por regla general el alto de las vetas está constituído por roca suficientemente sólida para no exigir el empleo de obras de fortificación; pero en las vetas de la región S. E. no sucede así y los tiros tienen que ser sostenidos en toda su extensión.

La mampostería es usada de preferencia por ofrecer más resistencia y necesitar menos reparaciones que el ademe; sin embargo, algunos tiros, por los que baja el aire puro y fresco del exterior están ademados, y en estos casos la madera dura mucho tiempo en buen estado.

El ademe más común está formado por cinchos de viga de oyamel, de secciones variables con las dimensiones del tiro y con el empuje de la roca por sostener, reforzados por atravesaños dispuestos de manera que dividan el tiro en dos secciones para desagüe y extracción, y sirviendo para sostenimiento de las guías de las "chalupas." Otras veces sirven para clavar varios cuartones unos al lado de otros, formando así una sección "partido" aislada del resto del tiro y en la que se colocan las escaleras de barrotes de 5 á 7 metros de longitud, apoyadas sobre vigas y cuartones (tapextles) para el descanso de los operarios que por ellas suben y bajan. Los cinchos no sujetan la roca directamente sino cuando están apoyados unos sobre otros (anillos); cuando están algo separados se emplea un *tupido* formado por tablas de varios gruesos.

Las secciones son de forma rectangular, de manera que la ejecución de las mamposterías es bastante sencilla empleando en ellas piedras de forma de prisma recto de base rectangular, ó bien piedra sin labrar.

El cuele de estas obras se efectúa á mano, usando la perforación mecánica en muy pocas ocasiones; empleando para la limpia, ó bien un malacate de caballos, ó el aparato mismo de extracción, subiendo el tepetate con un burro hasta el *resguardo* situado en el punto adonde llegan los guías.

Casi siempre los cueles se hacen á destajo, pagando al contratista á razón de un tanto por metro y midiéndole semanariamente. El precio de ajuste varía, como es de suponer, con el tamaño de la sección, la dureza de la roca y con las demás circunstancias que faciliten ó dificulten el trabajo del barretero, oscilando desde $50.00 á $200.00 y aun más.

El ademe se suele ajustar al mismo destajero que lleva el cuele; y las mamposterías también se hacen por contrata.

Exploración.—En todas las minas de Pachuca se cuelan varias obras con el objeto de buscar nuevas zonas de riqueza para cuando se termine el disfrute de las conocidas en la actualidad.

Para la investigación de una veta en dirección se acostumbra colar las frentes de algunos cañones de las minas situadas sobre la veta objeto del estudio. Estos cañones á diferentes niveles se comunican por planes, que á la vez que facilitan la ventilación, permiten el estudio en el sentido de la inclinación.

Para el estudio de las vetas paralelas se dan cruceros desde los cañones de las minas próximas, al nivel á que se quiere hacer el estudio y una vez cortada la veta por el crucero, se rompen sobre ella una ó dos frentes.

Las dimensiones que se acostumbra dar á los cañones y cruceros varían generalmente de 1^m80 á 2^m20 de altura por 2^m00 á 2^m50 de anchura, haciendo el campo necesario para alojar los ademes y mamposterías, siempre que la poca solidez de la roca haga necesario el empleo de fortificaciones. Suele presentarse el caso de tener que dejar una parte de la sección para la ventilación y entonces se dan mayores dimensiones á las obras para que al disponer del espacio necesario á la circulación del aire no se reduzcan las dimensiones indicadas.

Como muchas minas contiguas pertenecen algunas veces á una misma compañía, resulta de aquí un vasto campo para investigaciones, y los mineros de Pachuca comprendiendo el interés del estudio del yacimiento, han llevado á cabo obras muy costosas y de gran desarrollo, con una constancia y tenacidad dignas de elogio. A continuación citamos algunas de las más importantes.

El Socavón del Rosario de más de 1,200 metros de extensión labrado sobre veta y que ha encontrado zonas de riqueza muy importantes.

El cañón de Todos Santos con un desarrollo superior á 1,175 metros, á 120 metros abajo del nivel del socavón.

El de San Francisco, aún más profundo (171^m95) y por el cual se puede recorrer una extension de más de dos kilómetros y medio, desde San Cristóbal hasta San Manuel.

El crucero del Jacal que parte á 20 metros W. del tiro de San Juan al nivel del cañón de San Francisco, y que llega al límite de las pertenencias con una longitud de cerca de 600 metros.

El de San Nicanor, que alcanza 400 metros.

El cañón de la Fortuna á 450 metros próximamente de la boca del tiro de San Pedro, que tiene como 1,500 metros de longitud, y por el cual afluye la gran masa de agua que extrae la bomba de San Juan.

El cañón 167 de Camelia, parte de él sobre la veta principal (Vizcaina) y parte sobre la de Maravillas y que tiene más de 1,350 metros de longitud, todo en obra muerta.

El 250 de la misma mina, de 680 metros y que tanto al E. como al W. encontró metal.

El $3^{ro.}$ del Zotol, desde San Buenaventura hasta el Carmen, con 1,400 metros de longitud próximamente.

El crucero de Amistad, que parte del 8º de Santa Gertrudis, corta la veta de Amistad y tiene 350 metros.

Y por último, el socavón de Prosperidad que alcanza ya 900 metros de longitud; parte de la vertiente Sur de San Cristóbal para ir á barrenarse con la mina de Rosario Viejo situada al N.

Para dar una idea del costo de ejecución de obras como cañones, cruceros, planes, etc., ponemos la siguiente tabla:

CLASE DE LA OBRA.	Dimensiones.	GENTE.		Dureza de la roca.	TRANSPORTE.		Número de pueblos.	Cuele semanario.	Precio por metro.	NOTAS.
		Barreteros.	Peones.		Horizontal.	Vertical.				
Cañón	m m 1.80×1.60	7	5	Dura.	m 60	m 115	6	m 2.00	$40	Se le dan caballos para el malacate.
,,	1.80×2.00	9	6	Media.	191	.....	6	3.60	30	
,,	,, ,,	7	5	Dura.	156	.....	6	3.00	30	
,,	,, ,,	6	4	Media.	300	.....	7	2.80	30	Acarreo en coches sobre vía herrada.
,,	,, ,,	4	8	Blanda.	180	.....	6	3.20	22.30	Con ademe.
,,	,, ,,	4	7	,,	230	.....	6	4.60	20	,, ,,
Crucero	,, ,,	8	8	Media.	142	40	6	3.00	30	
,,	,, ,,	8	8	,,	142	40	6	3.50	25	
,,	1.80×1,50	4	4	Blanda.	120	.....	6	3.00	14	,, ,,
,,	,, ,,	4	6	Muy dura.	237	.....	6	2.00	40	
,,	,, ,,	4	8	Muy blanda.	200	.....	6	1.20	50	Metiendo estacada para colar.
Contracañón	1.80×1.80	8	2	Media.	.....	.....	6	2.00	35	Sin acarreo.
Cielo	1.50×1.00	4	4	,,	.....	.....	6	1.00	25	Rellenando un comido cercano.
,,	2.00×1.50	4	5	Blanda.	100	.....	6	2.60	14	Con ademe.
,,	1.50×1.00	4	4	Dura.	120	.....	6	2.40	30	
Plan	,, ,,	7	4	,,	120	12	6	2.00	35	Levantando el tepetate con un burro.
,,	,, ,,	4	4	Blanda.	129	15	6	2.00	12	
,,	2.00×1.30	5	7	,,	40	20	6	3.00	25	Con ademe.
Tiro vertical	4.50×3.00	8	4	Dura.	.....	300	7	1.50	120	Perforadoras sistema Rand.
,, ,,	4.00×2.50	12	8	,,	.....	150	6	1.45	85	Se daban caballos para malacate.
,, de arrastre	2.00×1.50	8	8	,,	.....	110	6	3.00	55	
Lumbrera	4.00×3.00	4	6	Blanda.	.....	40	6	2.50	18	Levantando el tepetate con un burro.
Desazolve de un plan.	2.50×1.50	2	14	,,	30	40	6	3.50	20	Teniendo que subir el tepetate 80 metros con un burro para sacarlo hasta fuera.

Siempre que la poca solidez de la roca lo requiere se fortifican las obras usándose como en los tiros el ademe ó la mampostería, eligiendo uno ú otro según las condiciones de resistencia y duración que se deseen.

La madera más usada es la de oyamel y se vende en piezas de 10″ × 9″, 10″ × 10″ y 12″ × 12″ de escuadría y 8 varas de longitud. Para el tupido entre marco y marco se usan cuartones, también de 8 varas por 18″ de anchura, con espesores que varían de 1½ á 4″. Las piezas de madera de encino sólo se emplean en partes donde el empuje es excepcionalmente fuerte.

Como piedra para mampostería se usan dos clases de materiales labrados en prismas rectos de 18″ × 12″ × 4″ y de 12″ × 9″ × 3″ llamados "mocheta" blanca y morada; la primera es una toba rhyolítica y la segunda una dacita, las dos bastante buenas, siendo de mejor calidad la morada.

Para la mezcla se emplea cal común; sólo en algunas obras se emplea la hidráulica.

El costo medio de las obras de fortificación puede verse en la adjunta lista.

OBRA.	Dimensiones. metro.	Nº de vigas.	Dimensiones. Centims.	Nº de cuartones.	Dimensiones.	Mocheta. Docena.	Cal. Hectólitro.	Arena. Hectólitro.	Nº de marcos en 10 metros.	Costo 10 metros.	Costo metro.	Piedra metro cúbico.	NOTAS.
Cañón	1.80×2.00	11	25×15	18.5	45×5	......	......	......	11	$106.00	$10.60	......	Oyamel.
"	2.00×1.50	9	25×25	18.5	45×4	......	......	......	11	172.00	17.20	......	"
"	1.80×2.00	22	25×15	18.5	45×5	......	......	......	......	212.00	21.20	......	"
"	2.00×1.80	...	....	......	....	100	18	18	......	272.35	27.23	......	Mocheta.
"	2.00 radio.	...	....	......	....	50	10	10	......	166.15	16.61	......	Mocheta, arco recargado.
Tiro.	4.00×3.00	21	25×15	47	45×4	......	......	......	11	179.80	17.98	......	Oyamel.
"	4.00×3.00	21	25×15	47	45×5	......	......	......	11	318.80	31.88	......	"
"	5.00×4.00	33	30×30	61	45×10	......	......	......	11	587.00	58.70	.....	"
"	4,00×3.00	...	....	......	....	......	110	110	......	464.20	46.42	84	Piedra.
"	5.00×4.00	...	....	......	....	......	200	200	......	680.00	68.00	......	"

Explotación.—Las partes ricas encontradas por las obras de investigación cuando son de pequeñas dimensiones, ó cuando la compañía está necesitada de recursos, son disfrutadas sobre la marcha; pero por regla general se preparan primero, dividiéndolas por medio de cañones y planes en prismas de base rectangular, arreglando las distancias según que la veta y la roca encajonante son más ó menos resistentes. La altura varía desde 20 hasta 40 metros y la longitud ó separación de los planes entre 30 y 40 metros.

Las condiciones de dureza de la veta y de sus respaldos, así como la potencia y la inclinación son las circunstancias que determinan el método de explotación que debe emplearse.

La mayor parte de las vetas tienen una potencia entre 2 y 4 metros y son muy poco inclinadas; su dureza y la de la roca son bastante grandes; en estas condiciones se emplean los métodos de gradas rectas é invertidas con ó sin relleno. Cuando el rebaje se hace de pie, el relleno no se efectúa sino después de terminado el disfrute; cuando se hace de cabeza y hay tepetate suficiente, bien sea porque la misma veta lo suministre ó bien porque se pueda llevar económicamente el de algunas obras muertas inmediatas, se levanta hasta cerca del rebaje; pero es muy frecuente el caso en que no se hagan retaques completos lo que no es un gran inconveniente, pues abundan comidos de muy grandes dimensiones que se conservan bien desde hace muchos años.

En las minas situadas sobre la veta de Sta. Gertrudis no puede efectuarse el arranque del mineral sin emplear un relleno conveniente; porque la veta y el respaldo alto son sumamente blandos y se producirían caídos inmediatos si el retaque no siguiera inmediatamente al tumbe del mineral.

En Sta. Gertrudis se emplea el método de gradas invertidas poniendo un ademe provisional mientras puede rellenarse el comido.

En Barron, donde el empuje es tan fuerte que ni aún las mamposterías resisten mucho tiempo sin dislocarse ni cerrarse, se acostumbra labrar contracañones en el bajo que abiertos en roca sólida se conservan bien, y por los

que se efectúan los servicios de acarreo y ventilación. Varios planes los comunican unos con otros y cruceros con los cañones sobre la veta, estos se dejan arruinar cuando termina el disfrute de los macizos situados arriba.

En cuanto á este, se efectúa de la manera siguiente:

Después de abierto el cañón y fortificado se toma una porción de veta de 1.50 á 2 metros de altura que se va rebajando horizontalmente hasta terminarla, para después tomar otra de la misma altura arriba de la anterior, y así hasta llegar al cañón superior inmediato.

El metal arrancado va siendo reemplazado casi á continuación por el relleno, poniendo mientras se efectúa, unos marcos provisionales que se van quitando á medida que avanza el retaque, empleándolos más adelante. El relleno se obtiene á muy poco precio, pues basta romper cruceros al alto algo inclinados para que el derrumbe suministre el tepetate necesario. De trecho en trecho se dejan alcancías para que baje el mineral y pueda circular el aire.

La mina de San Rafael ha empleado también un método en relación con las condiciones de la veta que tiene una potencia en algunas partes hasta de 12 metros; es sólida y está encajonada en roca algo resistente. El método que se empleó era un método de pilares que de trecho en trecho deberían dejarse para el sostenimiento de los respaldos. Desgraciadamente los resultados de este método fueron fatales por haberse descuidado de la conservación de los pilares, que formados por mineral rico fueron debilitados y aun destruídos por los barreteros que trabajando á partido tratan de arrancar el metal de donde se encuentra; y como no se procuró fortificar ni rellenar oportunamente, se produjo un hundimiento que arruinó el tiro y el bombeŕío en él instalado, haciendo precisos fuertes gastos, en momentos críticos, para poner nuevamente la mina en estado conveniente.

Transporte interior.—El metal arrancado en los rebajes es acarreado á los despachos en el tiro, de varias maneras según la importancia de la mina y su producción. En minas pequeñas se hace uso del acarreo á lomo de peones que llevan el metal encostalado ó en mantas de jarcia ó cuero. La cantidad de metal que un peón puede transportar varía con la pendiente del cañón y sus dimensiones, con el estado del piso y con la ventilación; en las minas de Pachuca, en la mayoría de los casos, los cañones están en buenas condiciones y un peon con una carga de 50 kilógramos puede hacer de 25 á 30 viajes á una distancia de 200 metros, produciendo un efecto útil de 0.3 toneladas kilométricas; el costo de la tonelada en estas condiciones es de $ 1.70 por término medio. Si la distancia es mayor, suelen emplearse carretillas de mano.

Repito que este sistema es solamente usado en minas pequeñas y cada día tiende á ser reemplazado por métodos más perfectos y económicos.

En las minas de gran producción todo el acarreo se hace por vías perfeccionadas de 50 centímetros de ancho, con rieles de acero y durmientes metálicos, sobre los que ruedan carros generalmente de lámina metálica montados sobre ejes de acero y ruedas de fundición, casi siempre libres.

El tipo de los carros varía de una mina á otra prefiriéndose aquellos que pueden bascular; su capacidad y naturalmente su peso varían también dominando los de 500 á 600 litros que pueden extraer por viaje una tonelada de mineral.

Los carros son movidos por dos hombres que los llenan en las alcancías, los llevan al tiro, los cambian por los que bajan si se emplean jaulas para la extracción, ó los vacían en los despachos si no puede salir el carro al exterior y regresan con ellos de vacío ó con materiales ó herramienta.

La pendiente de la vía, si la distancia es larga y las condiciones de instalación permiten marchar con velocidad, se acerca á la llamada de equilibrio, en la que como es sabido, los carros pueden bajar solos; pero si el cañón tiene muchas sinuosidades, se prefiere la de igual resistencia y entonces la pendiente se aproxima á ésta.

Según algunos datos que hemos podido recoger, un carro puede hacer 40 viajes redondos recorriendo 200 metros de distancia en 8 horas de trabajo; tomando por término medio una carga de una tonelada por viaje, resulta un efecto útil de 8 toneladas kilométricas, y un costo por tonelada variable entre $0.20 y $0.25 según el estado de la vía y del material rodante, así como con el del engrase más ó menos perfecto de los ejes.

La diferencia en el costo de acarreo, es como se ve, muy notable, y la economía realizada por la vía perfeccionada pronto cubriría los gastos de su instalación y el costo del material empleado.

Se procura hacer que el mineral arrancado en las "labores" baje por su propio peso hasta los cañones, para lo que se hacen alcancías en los lugares convenientes; sólo en el caso de rebajes de pie, si no están inmediatos á un plan, se acostumbra levantar el metal por medio de burros (tornos) movidos á mano.

Extracción.—El mineral es levantado desde los despachos al exterior en "chalupas." Son estas unas cajas de lámina de fierro de forma de prismas rectos de base rectangular, truncados por un plano que pasa por una de las aristas de la base inferior con una inclinación próxima á 45° que constituye el fondo y permite al mineral vaciarse cuando se abre la puerta que está situada en la parte inferior de la cara más grande del prisma. Las dimensiones más frecuentes son de $0^{m}.60$ por 0.70 en la sección transversal, 1.30 de altura en la cara posterior y 1.60 en la anterior. Lateralmente tienen unas abrazaderas en las que entran las guías, y algunas veces ruedas que se apoyan sobre éstas. Una fuerte asa de fierro permite suspenderlas de la soga.

En la mina de San Rafael se usan "jaulas" de fierro, de dos pisos, en las que salen los carros cargados como vienen desde las alcancías.

Suele también efectuarse el manteo en botas de cuero "tenates," que exigen más tiempo para cargarse y descargarse, y que no estando guiadas vienen oscilando y chocando contra los corrales del tiro con tanta más fuerza cuanto la velocidad es más grande, por lo que no puede hacerse el servicio con rapidez, y sólo se emplea este medio para minas de poca importancia.

Cuando la extracción es grande las chalupas andan con rapidez, lo que no presenta inconveniente por tener un buen sistema de guías.

Las guías más usadas son de madera; las de cable sólo se usan en la mina de San Rafael, donde cada jaula tenía dos; pero como el tiro es bastante profundo, resultaban fuertes oscilaciones en las jaulas y para reducirlas se puso otra guía más. Probablemente no fué suficiente esto, pues sabemos que se piensa sustituirlas por guías de madera.

En el tiro de San Guillermo, donde como hemos dicho en otro lugar, la madera se descompone en breve tiempo, las guías están formadas por rieles de acero de $0^{m}\cdot06$ de altura y 0.025 en el hongo.

Aunque las guías de madera se prestan perfectamente para el funcionamiento de aparatos de seguridad ó paracaídas, no hay instalado uno solo en todas las minas de Pachuca porque las chalupas no permiten su aplicación La constante vigilancia y el cuidado que se tiene de que los cables estén siempre en buenas condiciones, hacen que el número de accidentes causados por ruptura de los cables sea muy reducido.

Los cables metálicos redondos son los que se usan; pues salvo la Compañía de San Rafael que emplea sogas planas de acero y la de Real del Monte que usa también sogas planas de acero ó de áloe, todas las demás negociaciones, y aun la Compañía, en muchas de sus minas emplean las redondas.

El diámetro de las sogas varía naturalmente con el peso por extraer, pero como el tipo de chalupas es más ó menos el mismo, las más usadas son de $\frac{7}{8}$ de pulgada $0^{m}\cdot022$ á $1\frac{1}{4}$ ó $1\frac{1}{2}$ pulgadas ($0^{m}\cdot031$ á $0^{m}\cdot0375$).

La soga de San Rafael es plana y tiene $0^{m}\cdot105$ de ancho por 0.010 de espesor, y las de la Compañía son por regla general de $0^{m}\cdot063$ por 0.0095.

Las sogas planas de áloe, únicamente usadas por la Compañía de Real del Monte, han dado muy buenos resultados.

Todas las sogas son de sección uniforme en toda su longitud, no alcanzando ningún tiro de Pachuca una profundidad suficiente para dar lugar al empleo de la soga disminuída; en efecto, el tiro de San Pedro que es el que alcanza mayor profundidad (504 metros), permite el uso de una soga de sección uniforme como lo demuestra el siguiente cálculo: Una soga de acero de crisol de $0^{m}\cdot038$ de diámetro se rompe con una carga de 75,600 kilos; tomando la sexta parte como carga de seguridad, podría trabajar levantando un peso de 12,600 kilos; el peso por 100 metros de esta soga es de 500 kilos, los 504 metros pesarían 2,520 kilos, que quitados de los 12,600 darían 10,080 kilos ó 10 toneladas en números redondos para el peso que puede levantar, y que no tiene una chalupa cargada.

Las rondanas son de fundición ó de llanta y núcleo de fundición y rayos de fierro forjado; el diámetro es bastante grande para no obligar al cable á tomar curvaturas pronunciadas; su garganta varía siendo redonda ó plana según la forma del cable que debe contener. Están sólidamente soportadas por horcas de madera bien cimentadas, y que tienen una altura suficiente para

poder detener la chalupa antes de que llegue á las rondanas, si por descuido del maquinista salen de la boca del tiro con velocidad notable.

Los motores empleados en la extracción son de tipos muy diversos; á continuación mencionamos algunos de los más notables.

En San Rafael hay un poderoso malacate construído por la Union Iron Works, S. F. Tiene dos cilindros conjugados, horizontales, de doble efecto, expansión de $\frac{1}{8}$ sin condensación, la distribución se hace por válvulas; el diámetro de los cilindros es de $0^{m}487$ y el golpe de $1^{m}554$, trabaja con una presión de 6.30 kilos por c.c.; transmisión directa al árbol sobre el que hay dos bobinas y un volante. Puede extraer más de 20,000 cargas (2,761 ton.) en una semana, de una profundidad media de 350 metros.

La compañía de Maravillas tiene en la mina del Xotol un malacate sistema Tangyes, de Birmingham, tamaño M, de un cilindro de $0^{m}466$ de diámetro por $0^{m}762$ de carrera; trabaja á 3.16 kilos por c.c., distribución por cajones, sin expansión ni condensación, volante y dos tambores cilíndricos; engrane para la transmisión del movimiento.

En la misma mina hay un malacate para las faenas á que da lugar el bombería instalado en el mismo tiro, es de dos cilindros pequeños, sin expansión ni condensación, tiene un pequeño volante y la transmisión se efectúa por un tornillo sin fin.

El malacate de Guadalupe Hidalgo, de grandes dimensiones, sin expansión, con condensación, tiene un servomotor para el cambio de marcha.

El malacate de San Guillermo es de dos cilindros horizontales Compound, con un sistema que permite poner los dos cilindros á plena presión; condensación, dos tambores y un volante.

La compañía de Real del Monte emplea algunos malacates ingleses de cilindro vertical de doble efecto, con expansión y condensación (no empleando la expansión). El cilindro de la máquina de San Carlos tiene $0^{m}762$ de diámetro y $2^{m}743$ de carrera, trabaja á $4^{k}214$ por c.c.; un volante y dos bobinas montadas sobre un eje horizontal. En San Pedro hay otro igual, y en Rosario y San Juan otros del mismo sistema pero de dimensiones un poco menores, con tambores cilíndricos por ser las sogas redondas.

Los malacates de la casa Robey son también muy usados por la misma compañía, y todos estos tienen bobinas para soga plana; pero el sistema que parece ha encontrado más conveniente y al que da la preferencia es el del malacate de Camelia de la fábrica de Paschke, Kaistner, de Freiberg en Sajonia. Este es de dos cilindros horizontales, de doble efecto, conjugados, sin expansión ni condensación; los cilindros tienen $0^{m}360$ de diámetro y $0^{m}800$ de golpe, distribución de cajones, transmisión directa, dos bobinas de $3^{m}30$ de diámetro exterior y $0^{m}585$ en el centro, una de ellas loca, volante de $2^{m}500$ de diámetro y 1,063 kilos de peso, tres frenos dos en las bobinas y uno en el volante; aparato especial para detener la marcha de la máquina automáticamente, y que es accionado por la chalupa al llegar á determinado punto de la horca.

Los malacates de caballos, de espeque bajo y de 2 á 4 puntas se emplean en muchos casos, sobre todo en minas de poco movimiento, ó para el cuele de tiros y obras de investigación de minas que comienzan.

Los generadores de vapor más usados son las calderas del tipo de Cornouailles y algunas Galloway, encontrándose algunas tubulares. La preferencia que se da á las primeras, aunque son poco económicas, depende de que el agua usada tiene muchas substancias en suspensión ó en disolución, y se forman incrustaciones que pueden quitarse más fácilmente en éstas.

Desague.—La gran cantidad de agua que se presenta en las minas de Pachuca cuando se alcanza determinado nivel, ha obligado á instalar máquinas poderosas de desagüe. La primera máquina establecida fué con el objeto de desaguar la mina del Rosario; se instaló en el tiro de San Nicolás y comenzó á funcionar en Marzo de 1853; arrastró el agua y permitió continuar las labores hasta los 180 metros de profundidad. No estando comunicadas directamente las dos minas y siendo poca la permeabilidad del terreno hubo necesidad de montar otra máquina que se instaló en 1863 en el tiro de Rosario hoy llamado del agua.

Posteriormente se instalaron las máquinas de San Juan y San Pedro que son del sistema Cornwall y de muy buena construcción. La primera de tracción directa y la segunda de balanzón.

Con el empleo combinado de estas máquinas se pudo colar el tiro de San Pedro hasta la profundidad de 504 metros, pero después dejó de andar la de San Pedro, y la de San Juan bastaba para mantener el agua al nivel del cañón de la Fortuna.

En estos últimos años se suspendió la marcha de la bomba de San Juan y el agua subió con mucha rapidez haciéndose sentir los efectos en la mayor parte de las minas.

A más de estas bombas se encuentran otras en el Bordo, Xotol, San Rafael, Santa Gertrudis y San Guillermo, y en el Carmen está para terminarse la instalación de otra, pero ninguna de ellas tiene la potencia de las de San Juan y San Pedro.

En las minas del Porvenir y de Corteza se encuentran dos bombas que han dejado de funcionar desde hace muchos años.

En algunas minas se emplea el malacate de extracción para desaguar haciendo uso de botas de cuero ó cajas de lámina de fierro, pero estos sistemas son poco empleados.

Siendo tratado el desagüe de Pachuca en un capítulo especial de esta memoria no insistiré más sobre el asunto para evitar repeticiones.

El mineral arrancado en las labores sufre una primera separación en el interior de la mina, que consiste en quitarle la parte pobre, que se deja para los rellenos y en separarlo en dos clases llamadas primera y segunda ó "calichal y azogues"; el de primera se encostala y el de segunda se echa suelto.

En el exterior sufre el mineral una nueva "pepena" que se hace de la manera siguiente:

Se separan á mano los trozos de mineral más grandes y el resto se cierne en tamices de tela metálica de ¼ de pulgada; la parte que pasa (tierras) se ensaya y según su ley se clasifica como de primera, segunda ó tercera. La parte que queda sobre el tamiz (grano) se lleva á unas mesas inclinadas hacia una caja de madera (tanque) provista de un falso–fondo de palastro perforado que detiene los fragmentos de mineral y sólo deja pasar el agua que resulta de lavar el grano y la tierra que ésta acarrea. El grano lavado se clasifica como las tierras en tres clases y la separación se hace á mano lo mismo que la del "gabarro," partiendo los grandes trozos con un pequeño martillo (pico) que sirve también para desprender en cuanto sea posible la matriz.

Las tres clases primera segunda y tercera se ensayan y según su ley se clasifican definitivamente. Si esta es superior á 0.005 ó á 30 marcos por montón de 30 quintales (1,380.74 kilos) "primera ó de fuego" el metal se vende ó se exporta; si es inferior á 0.005 y superior á 0.001,66 (segunda) se vende á las compañías fundidoras de Monterrey, San Luis y El Paso, y sólo se beneficia en Pachuca el de tercera (común) de ley inferior á 0.001,66 ó sea de menos de 10 marcos por montón.

Terminaré esta ligera descripción de los procedimientos empleados en la explotación de las minas de Pachuca, indicando la manera como se acostumbra retribuir á los operarios empleados en ellas.

Las obras muertas como cuele de tiros, obras de investigación y de comunicación, obras preparatorias, ademes y ejecución de mamposterías, se acostumbra darlas á destajo ó contrata. De esta manera el contratista, interesado en alcanzar una buena medida, procura sacar el mejor partido de la gente que emplea y bajo su vigilancia adelanta el trabajo y se gana tiempo en la ejecución; además, conociendo la gente que emplea y el gasto de "avio" que la obra ocasiona, se puede arreglar el precio de modo que la ganancia del contratista sea moderada.

También se ejecutan las obras anteriores á jornal, pero este método es menos ventajoso que el anterior.

En las labores de disfrute se acostumbran tres sistemas: el de jornal, el de contrata con partido ó sin él y el de partido.

En el primero los barreteros tienen un salario determinado, sin interés ninguno en que avance el trabajo.

En el de contrata se les ajusta á un tanto por metro de rebaje, é interesados en medir lo más que sea posible revuelven el metal con el tepetate. Para obligarlos á separarlo se acostumbra partirles el metal, dándoles la octava parte del de primera.

El de partido consiste en darles la octava de todo el mineral que arranquen; además se les raya $0.50 por día y se da á cada parada de dos barreteros, dos peones pagados por la mina, con las velas necesarias para éstos. El "avío" de los barreteros es por su cuenta.

Semanariamente se hace al barretero una oferta por la parte del mineral que por "partido" le corresponde, basándola sobre la ley media de la mina, el

número de costales por carga, y aumentando ó disminuyendo el precio según la ley dada por los productos de cada labor en las dos semanas anteriores y según el aspecto del mineral, resultando de esto que la oferta sea muy justa. El barretero está en libertad de dejar el mineral si la oferta le conviene, ó llevárselo en caso contrario.

Los materiales, cal, mocheta, etc. y la herramienta y útiles necesarios son dados por la mina.



VIII

MAQUINARIA Y DESAGÜE.

MAQUINARIA Y DESAGÜE.

En la parte superficial de los contrafuertes las rocas están fragmentadas por innumerables grietas muy próximas unas de otras; estado que ha contribuído á facilitar la obra destructora de los agentes de la dinámica externa, y cuyos efectos han producido el terreno de acarreo que cubre las mesetas y flancos de éstos contrafuertes.

Ahora bien, este terreno de acarreo es sumamente permeable, y los macizos rocallosos por las grietas que los dividen, ya de pequeñas dimensiones, ya de la importancia de las dioclasas, son accesibles al agua.

Lo primero que el minero debe hacer es evitar que el agua entre en sus labrados, construyendo al efecto presas en los lugares convenientes, pero no siempre es esto posible, viéndose entonces en la necesidad de sacar el agua por medio de bombas ó malacates según la importancia de la avenida.

El sistema empleado en Pachuca para efectuar el desagüe es el de bombas en repetición y el de malacates.

Los *plungers* de las bombas son movidos por el intermediario de cadenas por motores verticales de simple efecto con cataratas.

La aceleración del desagüe y el buen rendimiento del bomberío exigen que la velocidad del agua en los tubos de escape no sea pequeña; pero como deben disminuirse en cuanto sea posible las resistencias para el efecto útil del motor, la velocidad no debe ser demasiado grande.

La resistencia que el agua experimenta al moverse en los tubos está dada aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$h = 0{,}00143\ (v + 0{,}17\ \sqrt{v})^2 \frac{L}{D};$$

en la que h es la altura de la columna de agua cuyo peso expresa la resistencia debida al frotamiento, v la actividad del émbolo, L la longitud y D el diámetro del tubo.

La función es de tal naturaleza que no admite máximo ni mínimo; se anu-

la con v y se hace infinita con V; y á valores crecientes de la velocidad corresponden siempre valores crecientes de h.

Como se ve, la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad y por lo mismo en razón inversa de la cuarta potencia del diámetro: los tubos de gran diámetro son pues más convenientes.

Sólo la experiencia ha podido fijar el valor máximo de V; no debe exceder de 0^m40 por segundo. (Haton de la Goupilliére, curso de explotación).

Veamos cuales son las velocidades del agua en los bomberíos establecidos.

San Juan.—Carrera del émbolo 3^m05, número de golpes por minuto en marcha normal 5; luego velocidad lineal por segundo

$$v = \frac{3,05 \times 5}{60} = 0,25.$$

Para 10 golpes la velocidad sería 0.50, fuera ya de la velocidad límite; no debe pues la máquina marchar con más de diez golpes.

Zotol.—Carrera del plunger 2^m745, número de golpes por minuto en marcha normal 5; la velocidad por segundo será pues 0.23. Siendo tan poca su diferencia con la de San Juan, las mismas conclusiones le son aplicables.

Con carrera idéntica á la de Zotol é igual número de golpes tenemos el Bordo, S. Guillermo y Santa Gertrudis. Ninguna de las máquinas establecidas en Pachuca será prudente que ande con más de diez golpes.

Máquina de desagüe de San Juan.

Motor vertical, simple efecto, catarata de agua, tracción directa, expansión y condensación.

Datos.

Diámetro interior del cilindro	2^m159.
Carrera del émbolo	3^m050.
Expansión	$\frac{1}{3}$
Presión	50 libras.
Condensador	9 ,,
Golpes por minuto	5

El trabajo teórico, en caballos por segundo, está dado por la siguiente fórmula:

$$T = n\ 2,222\ p\ v \left(1 + L\ g\ m - \frac{p'\ m}{p}\right)$$

en la que n es el número de golpes por minuto, p la presión en kilos por centímetro cuadrado, v el volumen del vapor á plena presión, m el coeficiente de expansión y p' la presión en el condensador.

Según los anteriores datos, $n=5$;

$$p=\frac{50}{14.7}\times 1{,}033=3{,}513;\ v=0{,}785\ d^2.\ h \text{ (carrera á plena presión)}=$$

$$=3^{\text{m. cb.}}721;\ m=3;\ Lg\,m=1{,}099 \text{ y } \frac{p'\,m}{p}=0.54$$

Efectuados los cálculos tendremos T=227.

El coeficiente admitido para esta clase de máquinas, en buenas condiciones de funcionamiento, es 0.75; el efecto útil del motor será pues 171 caballos.

Como promedio de varias experiencias, la bomba da 400 litros por golpe de émbolo;[1] el gasto por minuto será de 2,000 ó sea 34 por segundo.

Cuando se tomaron los datos anteriores, el agua era elevada á la altura de $271^{\text{m.}}51$; el trabajo necesario para ello era en caballos igual á $\frac{271{,}51\times 34}{75}=$ $=123$; por consiguiente las resistencias pasivas del bomberío consumen 48 caballos, ó sea 28 por ciento del trabajo útil del motor.

Para calcular la temperatura y densidad del vapor, haremos uso de las siguientes fórmulas:

$$p=1{,}033\ (0{,}2847+0{,}007153\ t)^5 \text{ y}$$

$$d=\frac{0{,}78402\times p}{1+0{,}00368\,t}$$

Efectuados los cálculos tendremos $t=139°5$ y $d=1^{\text{k.}}816$.

El peso del vapor que entra al condensador por segundo, es:

$$\frac{3{,}721\times 5}{60}\times 1{,}816=0^{\text{k.}}563.$$

La cantidad de agua necesaria para verificar la condensación está dada por la fórmula siguiente:

$$q'=q\,\frac{(550+t-t'')}{t''-t'},$$

representando q el peso de vapor por segundo, t'' la temperatura del condensador y t' la del agua que va á condensar el vapor. Para alimentar el condensador se hace uso del agua elevada por la bomba, agua cuya temperatura es de 20° por término medio, y si admitimos para t'' 40°, tendremos $q'=18$ litros ó sea 285 por caballo-hora.

Carbón teórico por caballo-hora.—El número de calorías contenido en el peso q de vapor es $q\ (550+t)=388$. En la práctica se admite que un kilo de carbón produce al quemarse 3,525 calorías; por consiguiente el carbón necesario en kilos para 388 calorías será $\frac{388}{3525}=0^{\text{k.}}11$, ó sea por caballo-hora $\frac{0{,}11\times 3600}{227}=1^{\text{k.}}7$.

1 Experiencias hechas por los ingenieros del Instituto Geológico.

El número de kilos de vapor que produce un kilo de carbón será

$$\frac{3525}{550+t-t''}=5^{k.}6.$$

Veamos si la condensación resulta económica.

Según los cálculos anteriores, $1^{k.}7$ de carbón puede mantener durante una hora la fuerza de un caballo, desarrollando por lo mismo 270,000 kilográmetros; $1^{k.}7$ de carbón es pues capaz de elevar un peso (p) de agua á la altura $\frac{270,000}{p}$. Hemos encontrado que 18 kilos de agua condensan $0^{k.}563$ de vapor; por consiguiente, para condensar un kilo de vapor se necesitarían 32 de agua. Pero $1^{k.}00$ de carbón produce $5^{k.}6$ de vapor, luego $1^{k.}7$ producirán $9^{k.}52$ de vapor, y para condensar esa cantidad se necesitarán 305 kilos de agua; luego $p=305$; y la altura que podremos llamar económica será pues igual á $\frac{270.000}{305}=885$ metros. Como el agua sólo se eleva á la altura de 271 metros, la condensación se opera en condiciones económicas.

Debo advertir que Haton de la Goupilliére en su tratado de explotación tomo 2 pág. 280, da como altura máxima económica 200 ó 100 metros, y se expresa así: "Este límite es como se ve, inferior á la profundidad de la mayor parte de las minas de alguna importancia."

Creo que el autor sufrió una distracción, pues pone por dividendo 27,000, y sin embargo lo hace igual á $75\times60\times60$, cuyo producto es 270,000.

Bombería.—Está arreglado como sigue: $25^{m.}14$ de bomba aspirante, $75^{m.}42$ de la tercera playa á la segunda, $83^{m.}8$ de la segunda á la primera y $87^{m.}15$ de la primera al exterior.

Los tubos son de fundición, teniendo por diámetro interior $0^{m.}432$.

Calderas.—Las calderas que generan el vapor son de sistema Cornish, de hogar interior. Sus dimensiones son: longitud $9^{m.}15$, diámetro exterior $2^{m.}008$, diámetro del hervidor $1^{m.}372$.

Bastan dos para el funcionamiento del motor.

Se alimentan con leña, consumiendo 12 lib. por caballo-hora.

Motor de desagüe del Zotol.—Motor semejante al de San Juan, difiriendo tan sólo por ser de balanzón.

Datos.—Diámetro del cilindro	$1^{m}905$
Carrera émbolo	$3^{m}05$
Expansión	$\frac{1}{3}$
Presión	50 lib.
Condensador	9 lib.
Golpes por minuto	5

Intencionalmente he tomado para el Zotol, y lo mismo haré con las demás máquinas, la misma presión, expansión y número de golpes que corresponden á San Juan, con el objeto de evitar inútiles repeticiones, pues son del

mismo tipo; pudiendo así compararlas todas con la máquina establecida en la mina de San Juan.

Con los datos anteriores el trabajo teórico será 177 caballos, ó 133 de efecto útil.

El volumen del vapor á plena presión es $2^{m. cb.}897$.

Peso de vapor que entra por segundo al condensador $0^{k.}438$.

Agua necesaria para operar la condensación 14 litros ó sea 285 por caballo-hora.

Carbón teórico por caballo-hora $1^{k.}8$.

El plunger de la bomba tiene por diámetro $0^{m.}381$ y por carrera $2^{m.}745$.

El gasto de la bomba medido directamente el mes de Agosto[1] fué de 293.4 litros por golpe de émbolo; el agua era elevada entonces á la altura de 234 metros, y la máquina marchaba con nueve golpes por minuto.

Motores idénticos al del Zotol son los del Bordo, San Guillermo y Sta. Gertrudis.

Datos del Bordo.—	Diámetro del cilindro	$1^{m.}27$
	Carrera émbolo	$3^{m.}05$
	Expansión	$\frac{1}{3}$
	Presión	50 lib.
	Condensador	9 lib.
	Golpes por minuto	5
	Caballos teóricos por segundo	79;

efecto útil 60.

Volumen de vapor á plena presión $1^{m. cb.}288$.

Peso de vapor que va por segundo al condensador $0^{k.}194$.

Agua necesaria para la condensación 6.2 litros, ó por caballo-hora 283.

Carbón teórico por caballo-hora $1^{k}8$.

No sé si se habrán hecho experiencias con el objeto de determinar el efecto útil de la bomba; en la mina se nos dijo que esta sacaba 792 litros por minuto, siendo la altura de elevación 416 metros.

Máquinas de San Guillermo y Santa Gertrudis.

Diámetro cilindro	$0^{m}762$
Carrera émbolo	$3^{m}050$
Expansión	$\frac{1}{3}$
Presión	50 libras.
Condensador	9 ,,
Golpes por minuto	5
Trabajo teórico por segundo	29.
Volumen de vapor á plena presión	$0^{m}464$
Peso de vapor que entra por segundo al condensador	$0^{k}071$

1 Experiencias hechas por los ingenieros del Instituto Geológico.

Agua necesaria para la condensación 2,3 litros ó sea 286 por caballo-hora.

Carbón teórico por caballo-hora............................ $1^{k}7$

No sé la cantidad de agua que sacan, ni su altura de elevación. El gasto teórico de la bomba no lo expreso por no haber podido averiguar con exactitud el diámetro del plunger.

Máquinas verticales de balanzón existen además en los tiros de San Pedro y Purísima, pero hace mucho tiempo que no andan.

El desagüe con malacate se verifica en las minas de Camelia y Guadalupe Hidalgo. La capacidad de los toneles de la primera es 1 metro cúbico y la de los de la segunda, 2 metros cúbicos. [1]

Réstame hablar de la mina de San Rafael.

En Junio del año pasado se inauguró un bomberío distinto de los hasta entonces usados.

Los generadores de vapor se instalaron fuera de la mina y los motores en el interior.

Las bombas son de doble plunger, están colocadas en posición horizontal y sólidamente unidas á un motor horizontal. El tubo de aspiración es común á dos bombas y lo mismo el de escape; sus válvulas están colocadas en la parte superior del cuerpo de bomba, son fácilmente accesibles, dispuestas en serie y débil la altura á que se elevan. Esta disposición es ventajosa: su posición permite su fácil vigilancia, el fraccionamiento de la sección disminuye el peso del sistema móvil, y su poca elevación (carrera) disminuyendo la velocidad del agua al salir por los orificios, permite que la bomba marche con mayor velocidad. El cuerpo de bomba está dividido en dos compartimientos, correspondiendo cada uno á un plunger; uno obra en el movimiento de avance del émbolo y el otro en el retrógrado.

El plunger tiene de diámetro $0^{m}165$ y de carrera 0.457; el volumen teórico de agua por golpe es pues 9,7 litros.

El motor que pone estas hombas en acción, es como dije, horizontal, con condensador y de dos cilindros dispuestos en tandem; el más chico, de $0^{m}305$ de diámetro trabaja á plena presión y el más grande, de $0^{m}508$, por expansión.

Estando instalados fuera de la mina los generadores de vapor, éste no llega al cilindro sino después de haber recorrido un tubo de $0^{m}1016$ de diámetro y 178 metros de longitud. (Tomo por ejemplo el primer tramo, las bombas estando instaladas en el cañón de Guadalupe, 178 metros abajo del brocal del tiro). El tubo está cubierto con asbesto de $0^{m}0254$ de espesor; en estas condiciones la condensación del vapor produce cuando menos un gramo de agua por segundo y por metro cuadrado de superficie; quiere decir, que el vapor llegará muy húmedo al cilindro; pero para el buen rendimiento de las

1 Los datos de la maquinaria, fué imposible conseguirlos, por ignorarlos los encargados.

máquinas es indispensable que el vapor llegue seco, pues sólo así se disminuyen las condensaciones y por lo mismo las pérdidas.

Según las experiencias hechas por el profesor Ordway, la pérdida que corresponde al conducto de vapor, es, suponiendo su temperatura de 155°, de 1,329 calorías por hora y por metro cuadrado. La velocidad del vapor en el tubo será

$$\sqrt{2\,g\,H\frac{D}{d}}$$

siendo H la altura de la columna de mercurio á 0° que mide la presión, D la densidad del mercurio y *d* la del vapor.

Según fórmulas ya dadas anteriormente, á 155° de temperatura corresponden $5^{k}37$ de presión por centímetro cuadrado ó sea en columna de mercurio á 0°, $3^{m}95$ y por densidad del vapor $2^{k}68$;

$$\sqrt{2\,g\,H\frac{D}{d}}$$

es igual á 600 metros por segundo próximamente. El vapor recorrerá pues el tubo en 0,3 de segundo.

La superficie interior del tubo es de 54 metros cuadrados; y como la pérdida por metro cuadrado, y por segundo es 0,4 de caloría, la pérdida total será de 7 calorías.

El peso de vapor por golpe de émbolo es 0,785 $(0{,}305)^2$ $0{,}457 \times 2{,}7 = 0{,}09$ kilos, que contiene en calorías 0,09 $(550+155) = 63.5$; mas como se pierden 7, el vapor llegará á obrar sobre el émbolo sólo con 56,5 calorías.

Para determinar la temperatura que corresponde á estas calorías haré observar que siendo la temperatura desconocida, la densidad del vapor lo será también; y por lo mismo la ecuación que liga la temperatura del vapor y sus calorías, se presenta como indeterminada.

En efecto, esta ecuación es:

$$56{,}5 = 0{,}033d\,(550 + t);$$

pero

$$d = \frac{0{,}78402\,p}{1 + 0{,}00368\,t}, \quad \text{y}$$

$$p = 1{,}033\,(0{,}2847 + 0{,}007153\,t)^5;$$

luego, tendremos combinando estas ecuaciones:

$$56{,}5 = \frac{0{,}033 \times 0{,}78402}{1 + 0{,}00368\,t} \times 1{,}033\,(0{,}2847 + 0{,}007153\,t)^5\,(550 + t)$$

La solución de esta ecuación da $t = 150°$, temperatura que corresponde á la presión de 4,75 kilos por centímetro cuadrado; y como 155° corresponde á 5,47, la pérdida es de 0,72 ó sea 14 por ciento de la presión inicial.

Esta pérdida corresponde al vapor sólo en el primer tramo; en los siguientes, más profundos, debe ser mucho mayor.

He hecho este cálculo con el objeto de hacer resaltar uno de los principales defectos inherentes á tales instalaciones.

En San Rafael se instaló el bomberío en tres tramos; actualmente las bombas de los dos inferiores se encuentran bajo el agua, y para elevar ésta del cañón 280 al de Guadalupe se instalaron dos bombas colgantes construídas bajo el mismo tipo de las de la instalación permanente.

La compañía de Maravillas acaba de instalar una nueva bomba en el tiro del Cármen.

Los datos suministrados por el Señor Ingeniero José C. Haro son los siguientes:

Diámetro del cilindro, 60 pulgadas inglesas; carrera del émbolo 10 pies; carrera de la cadena 9 pies. El bomberío se compone de dos fletes de bombas ó sean dos playas de 15 pulgadas de diámetro y una columna aspirante y elevadora, cuyo émbolo tiene 16 pulgadas de diámetro. La cadena está equilibrada por dos contra–balanzones; uno en la boca del tiro y el otro en el tercer cañón.

La capacidad de las bombas es de 312 litros, y como en las condiciones actuales no pierde sino el 3 ó 4 por ciento, hay una extracción efectiva de 300 litros por golpe. En los primeros días trabajó la máquina andando con 5½ golpes por minuto; en la actualidad (Abril 21 de 1897) está dando 6½ golpes con los cuales se mantiene el agua al nivel del chupador.

Ultimamente se ha hecho una instalación eléctrica, creando una caída en la barranca de Regla. Se aprovecha la potencia eléctrica en Pachuca para mover las haciendas de beneficio de Guadalupe y La Unión y las bombas de la mina de San Rafael.

Los datos que de esta instalación hemos conseguido son las siguientes, proporcionados por el Sr. Don José de Landero y Cos, Director de la Compañía de Real del Monte y Pachuca.

En el arroyo de Regla, abajo de la hacienda de este nombre, se encuentra una presa de la que parte un largo canal de 2,600 metros, mamposteado en toda su extensión y con un revestimiento de recinto en el fondo. Atraviesa 10 túneles que tienen diversas longitudes siendo 200 metros la del más grande y entre todos forman una longitud de 600 metros. La sección del canal es de $1^{m}25 \times 1^{m}25$ y está labrado en la margen derecha del arroyo sobre la roca que se encuentra abajo de las columnas de basalto. Aunque la capacidad se ha determinado para 1,400 litros de agua por minuto, sólo se ha contado para la instalación de los receptores hidráulicos, con la fuerza que pueden producir 700 litros por minuto, cantidad que corre por el arroyo en el estiage.

En el extremo del canal hay otra presa, con el objeto de poder obtener el llenamiento completo de los tubos que parten de este punto y llegan hasta los receptores. El diámetro de los tubos es de $0^{m}76$, la longitud de la cañería de 1,850 metros y la diferencia de nivel de los puntos extremos de 247 metros.

Los receptores hidráulicos son ruedas Pelton de diferentes diámetros y que marchan con velocidades diversas según el objeto á que están destinadas.

Cinco ruedas de $1^{m}016$ de diámetro y que marchan con 600 revoluciones por minuto, mueven otros tantos generadores montados directamente sobre el mismo árbol de las ruedas. Cuatro están en marcha simultáneamente y el otro es de refacción.

Los generadores son de corrientes alternativas trifaciadas, trabajan en serie y son excitados por un pequeño dinamo movido por una rueda de $0^{m}61$ de diámetro y que da 1,300 revoluciones por minuto. Hay otro dinamo excitador y su rueda correspondiente de reserva.

Dos ruedas de $0^{m}43$ y que dan 2,400 revoluciones por minuto, mueven dos reguladores destinados á uniformar la marcha de las ruedas que mueven dos dinamos. Sólo marcha un regulador, teniendo el otro de reserva.

Cada dinamo (alternador) produce una fuerza eléctrica de 350 kilowatts, bajo una tensión de 700 volts, la que se eleva á 10,000 volts por medio de seis transformadores en serie, por los que se hace circular una fuerte corriente de aire producida por un ventilador, con el objeto de evitar el calentamiento. Hay un transformador y un ventilador de reserva.

La transmisión de la corriente eléctrica se hace por tres alambres de cobre descubiertos, de sección circular que tiene $0^{mc}000054$ de superficie. Están soportados por postes de tubo de fierro de $0^{m}089$ de diámetro, colocados á $37\frac{1}{2}$ metros uno de otro y cuyo número, hasta San Rafael, es de 701; teniendo la línea más de 26.000 metros de longitud hasta el mismo punto.

La pérdida de potencial de la línea se estima en 10 por ciento, teniendo por consiguiente una tensión de 9,000 volts la corriente que llega á San Rafael y Pachuca.

En las estaciones secundarias se encuentran transformadores para reducir el voltage al necesario para el trabajo de las receptadoras. En San Rafael se hace descender de 9,000 á 1,000 para las bombas fijas y después á 110 para las de juego.

La fuerza disponible en la estación principal es de 1,200 caballos que se han distribuído de la manera siguiente:

Mina Dificultad (Real del Monte)	450 caballos.
Mina San Rafael (Pachuca)	300 ,,
Hacienda La Unión (Pachuca)	300 ,,
Hacienda Guadalupe (Pachuca)	150 ,,
Total	1200 caballos.

IX

METALURGIA.

METALURGIA.

En el Mineral de Pachuca la metalurgia de la plata se efectúa tratando los minerales argentíferos por amalgamación. El principio del método consiste en disolver la plata en el mercurio, separándola en seguida de esta disolución por la simple acción del calor.

El beneficio por amalgación tiene dos variantes principales según que se opere al aire libre ó en una atmósfera limitada. La primera manera de operar define el beneficio común de patio. En la segunda se comprenden el beneficio en panes y en toneles.

La secuela de las operaciones en el beneficio por amalgamación es la siguiente: 1º—Se pulverizan los minerales; 2º—Se someten á reacciones químicas que hagan pasar la plata á una forma ó combinación tal, que el mercurio pueda precipitarla y disolverla, produciendo la amalgama; 3º—Se separa esta amalgama del exceso de mercurio; 4º—Se destila el mercurio de la amalgama, y 5º—Se funden las barras.

La presente memoria se refiere á las principales Haciendas de Pachuca.

I

Pulverización de Minerales.

La pulverización comprende dos operaciones: 1º—Granceo de los minerales; 2º—Molienda propiamente tal.

En la hacienda de la Purísima Chica, el gabarro grande se quiebra á mano para reducirlo á fragmentos de $0^{m}051$ á $0^{m}064$ de diámetro. En seguida pasa á los molinos granceadores. Estos son molinos chilenos de una sola rueda con llanta de acero y centro de piedra. La llanta consta de 6 segmentos y pesa 1,853 kilos. El ancho de la llanta es de $0^{m}40$ y su espesor de $0^{m}10$. Diámetro $1^{m}95$. El centro pesa 2.750 kilos; su diámetro de $1^{m}70$ y anchura de $0^{m}50$. Es un block cilíndrico en cuyo centro pasa un espeque articulado con

el peón por una pieza llamada espada. Cada punto de la llanta en su movimiento, desarrolla una cicloide sobre una superficie cilíndrica ó cónica, según que la rueda sea perfectamente vertical ó ligeramente inclinada. El fondo sobre que se mueve es de acero y tiene la forma de una corona con diámetro exterior de 0^m80, anchura de 0^m50 y espesor de 0^m10. El resultado mecánico del molino es determinado por la presión de la rueda directamente proporcional á su peso, y por una fricción, cuyo valor máximo depende de la inclinación de la normal á la cicloide descrita por cada punto de la llanta, en el contacto de esta con el fondo sobre que se mueve. La intensidad del frotamiento varía en la extensión de la llanta, correspondiendo su máximun al punto de mayor desgaste. Esto origina una inflexión en la superficie de la llanta á la que corresponde otra en el fondo. Para realizar un desgaste parejo es necesario determinar la inclinación de la rueda para la que el frotamiento tenga el mismo valor en toda la extensión de una generatriz.

El molino se mueve con dos caballos que se mudan cada cuatro horas. Se grancea en seco al diámetro de $0.^m01$. Al efecto, de la circunferencia interior de la corona sobre la que se mueve el molino, al peón, hay unas cribas de fierro inclinadas 45°, con agujeros de 0^m01 de diámetro y separados 0^m01. Es capaz de 8 toneladas 625 kilógramos en 11 horas de trabajo. La hacienda tiene 4 molinos con los que en 11 horas se grancea la carga suficiente para 96 arrastras, las cuales son capaces de una molienda de 34½ toneladas en 24 horas. Cada molino es servido por 2 ó 3 operarios. La granza cae á unos polveros de donde se lleva á las arrastras para la molienda definitiva.

La arrastra es una área circular de piedras duras colocadas de canto y rodeadas de una barrera de piedras ó de tablas de madera. En el centro de la área se coloca un árbol vertical provisto de un espeque y una cruz, á los cuales se fijan las voladoras por medio de cadenas y estacas.

El trabajo en la arrastra es de grande importancia, porque el rendimiento en plata depende esencialmente del grado de división del mineral.

En la Hacienda de la Purísima Chica hay 96 arrastras repartidas en 5 galeras. Por razón de su capacidad se dividen en dos series:

1ª—Arrastras capaces de 379.5 kilógramos en 24 horas, con diámetro de 2^m82, 2^m70 y 2^m56.

2ª—Arrastras capaces de 276 kilógramos en 24 horas, con diámetro de 2^m40.

Hay 74 de la primera y 22 de la segunda.

Las arrastras de la primera serie se mueven con dos mulas, necesitándose 4 para el trabajo de 24 horas y remudándose cada seis horas; las arrastras de la segunda serie se mueven con una mula, necesitándose dos para el trabajo de 24 horas, remudándose cada seis horas.

Para el caso de tener carga limitada é ilimitado número de arrastras (que se disponga de mucho terreno) la unidad para el establecimiento económico de la molienda será la arrastra de la segunda serie, porque siendo capaz de 276 kilógramos (2 cargas de 12 @) en 24 horas y exigiendo dos mulas para el servicio, el costo por 138 kilógramos (1 carga) será el de la manutención de la mula.

Para el caso de número limitado de arrastras (que se disponga de poco terreno) y de carga ilimitada, la unidad será la arrastra de la primera serie que es capaz de 379.5 kilógramos y da por consiguiente mayor cantidad para beneficiar con la utilidad correspondiente á esta mayor cantidad.

Según esto, concretando el caso de la hacienda de la Purísima Chica, en la que resulta una utilidad media de $1.10 por 138 kilógramos, cuando se benefician 245 toneladas 640 kilógramos por semana, el excedente de capacidad de la arrastra de la primera serie, 103.5 kilógramos, con un gasto próximamente de 50 centavos más que la arrastra de la segunda serie, arroja en el beneficio 82.5 centavos de utilidad. Luego estas arrastras deben preferirse.

Una y otra de las dos variantes suponen una capacidad de patio en relación con la molienda.

Si se dispone de suficiente terreno para establecer arrastras de la segunda serie en número suficiente para todo el metal con que se cuente, ésta instalación es la más ventajosa, porque asocia la economía de la molienda con la utilidad del beneficio.

Las arrastras de la primera serie tienen cuatro voladoras de 1^m257 de largo y un espesor central de 0^m419. Pesan de 249 á 313 kilógramos.

Las de la segunda serie tienen tres voladoras de 0^m838 de largo y un espesor central de 0^m325. Pesan 230 kilógramos.

Cada voladora dura de 7 á 8 semanas. Se desechan cuando están desgastadas á la mitad.

Las piedras que forman el fondo de la arrastra, de la misma naturaleza que las voladoras, se llaman tacos: se colocan de canto, y entre taco y taco se rellena con ripio. Se colocan para cada arrastra de 11 á 15 docenas de tacos, según sus propias dimensiones y el diámetro de la arrastra. Dura una arrastra de 7 á 8 meses. El desgaste del fondo es próximamente de 0^m012 semanarios.

La molienda se hace con agua, cuya adición se verifica por intermitencias durante 18 horas, en cantidad variable según la clase de los metales. El objeto es formar una mezcla de densidad tal, que la granza descienda lentamente para que sufra la acción de la molienda. Si se pusiera toda el agua ó un exceso al principio, la granza se acumularía delante de las voladoras y no habría molienda, ó sería muy lenta. Esto lo llaman los prácticos "arrollarse." Al moverse las voladoras, su borde anterior é inferior en el sentido del movimiento, está á una distancia de 0^m03 á 0.05 del fondo de la arrastra, mientras que la parte posterior é inferior está en contacto con dicho fondo. La cantidad de agua necesaria es, término medio, 504 litros para 379.5 kilógramos de mineral. Se descargan las arrastras cada 24 horas y en general, después del tiempo suficiente para obtener la molienda tal como se desee, siendo siempre más conveniente disminuir la carga de las arrastras cuando el metal sea muy duro, á fin de tener mejor sistemada la molienda, cargando y descargando las arrastras á las mismas horas.

Se designa la molienda con el nombre de "lama."

Por el desgaste de las moledoras y del fondo se introduce carga estéril en las lamas.

El desgaste, en peso, de las 362 voladoras que trabajan en la hacienda, es de 8 toneladas 280 kilógramos por semana, y el de los fondos de las 96 arrastras, de 13 toneladas 800 kilos. á 19 toneladas 320 kilos., lo cual da un total de carga estéril introducida por la molienda de 22 ton. 8 kilos. á 27 ton. 60 kilos. por semana.

Según esto, el ensaye docimástico de lamas debe afectarse de un coeficiente de corrección.

Sea a la ley determinada ensayando la lama, c la carga mineral, d la estéril y x la ley del mineral.

$a \times (c$ más $d)$ es la cantidad total de plata contenida en c; luego $a \times (c+d) = x \times c$; y

$$x = \frac{a \times (c + d)}{c}; \text{ para la Purísima Chica.}$$

$$c = 241 \text{ ton. } 500 \text{ kilógramos.}$$

$$d = 27 \text{ ton. } 600 \text{ kilógramos.}$$

$$x = \frac{(241.5 + 27.6)}{241.5} a = 1.114\ a.$$

El costo de la molienda es de \$0.95 por 138 kilógramos (una carga) de mineral.

Hacienda de la Purísima Grande.

Molienda por arrastras de $3^{m.}352$ de diámetro y 4 voladoras. Costo de una ya instalada \$87.00

Hay 30 arrastras de capacidad de molienda de 100 cargas en 24 horas, ó sea 3 cargas por arrastra y por día. Son movidas por dos mulas.

Costo de molienda por carga \$0.62.

Hacienda de Loreto.

Se grancea con cilindros chilenos y quebradora Blacke.

La molienda se hace por arrastras y molinos chilenos.

La quebradora y los molinos son movidos por ruedas hidráulicas de madera que reciben el agua por arriba. Lo demás es movido por caballos.

Hay 65 arrastras, moliendo 200 cargas en 24 horas, y 5 molinos chilenos que muelen 300 cargas semanarias.

No logramos averiguar el valor exacto de la molienda, pero por datos que se referían á 3 meses podemos decir que no baja de \$0.80 la carga.

Hacienda de Guadalupe.

En la hacienda de Guadalupe se grancean los minerales por medio de cilindros granceadores, capaces de granceear en 12 horas 207 ton. La longitud de los cilindros es de $6^{m.}612$, su diámetro interior de $0^{m.}559$ y su espesor de $0^{m.}77$. Se desechan cuando el espesor se reduce á la mitad, $0^{m.}038$, lo que su-

cede cuando ha granceado 8,280 toneladas en 40 días de trabajo de 12 horas por día.

La transformación del mineral en polvo se efectúa en 14 molinos chilenos de 2 ruedas cada uno, de los que 6 tienen la modificación de Mantey. Las llantas son de acero y los centros de piedra. El peso del centro varía de 2,500 á 2,000 kilógramos. El diámetro exterior de la llanta nueva es de $1^{m\cdot}828$, su anchura de $0^{m\cdot}305$ y su espesor de $0^{m\cdot}1525$. Pesa 1,920 kilógramos. La duración de la llanta, término medio, es de 3 años y se desecha cuando su espesor se reduce á $0^{m\cdot}0256$. El fondo sobre que se mueven las ruedas es de acero fundido. Es una corona cuyo diámetro exterior es de $1^{m\cdot}906$, su anchura de $0^{m\cdot}381$ y su espesor de $0^{m\cdot}038$. Los 14 molinos son capaces de una molienda de 690 toneladas semanarias pasando por tela del 60, lo que da para cada molino una capacidad de 49 toneladas semanarias en números redondos.

La molienda se hace con agua introducida bajo la forma de un hilo ó chorro continuo. Las ruedas se mueven con una velocidad de 13 á 14 revoluciones por minuto.

Por el efecto del desgaste de los cilindros granceadores y de las llantas y fondos de los molinos chilenos, se introduce acero á la molienda en cantidad de 435 kilógramos para 690 toneladas de mineral pulverizado. Há lugar en consecuencia á determinar el coeficiente de corrección á la ley determinada por el ensaye de lamas.

El movimiento de los molinos y de los cilindros granceadores se obtiene por medio de una máquina de vapor Cornwall, marcada Harvey & C. Engineers.—Hayle. La máquina es de condensación y expansión. El cilindro tiene un diámetro de $0^{m\cdot}914$. El golpe es de $2^{m\cdot}742$ (y en el codo $2^{m\cdot}440$). La bomba de agua fría tiene un diámetro de $0^{m\cdot}254$ y $1^{m\cdot}525$ de carrera; levantando el agua $24^{m\cdot}705$.

El trabajo de la máquina según diagramas tomados en Octubre de 1894 por el Sr. D. Juan Pratt, es como sigue:

1º La máquina con la bomba de agua fría y la flecha de transmisión del W.; 14½ revoluciones por minuto.

$$I \times H \times P = 18.74 \text{ caballos indicados.}$$

2° La máquina y bomba con 14 molinos y el quebrador (cilindros granceadores); 14½ rev. por minuto.

$$I \times H \times P = 196.45 \text{ caballos indicados.}$$

3º La máquina y bomba con 14 molinos, 14½ rev. por minuto.

$$I \times H \times P = 145.48 \text{ caballos indicados.}$$

4º Máquina y bomba con 8 molinos, ejes no modificados, 4 con llantas muy

gastadas, una con llanta de medio uso y tres con llantas casi nuevas; 14½ revoluciones por minuto.

$$I \times H \times P = 77.94 \text{ caballos indicados.}$$

5º Máquina y bomba con 6 molinos, ejes modificados, dos con llantas muy gastadas y cuatro con llantas casi nuevas, 14 rev. por minuto.

$$I \times H \times P = 60.38 \text{ caballos indicados.}$$

6º Máquina y bomba y las dos flechas de transmisión, del E. y del W., 14½ rev. por minuto.

$$I \times H \times P = 21.18 \text{ caballos indicados.}$$

Combinando los datos anteriores, tenemos:

Fuerza consumida por la bomba	9	caballos.
Idem ídem por la quebradora	51	„
Idem ídem por un molino	9	„
Idem ídem por la flecha del W	10	„
Idem ídem por la flecha del E	3	„

Quemando leña de encino, oyamel y pino, y comparando el consumo con la carga molida, resulta, término medio; para 138 kilógramos de leña quemada, 586 kilógramos de mineral molido; sea por tonelada de leña 4 ton. 246 kilos. de mineral. Quemando carbón de piedra, corresponde á una tonelada de carbón quemado, término medio, 13 ton. 5 kilos. de mineral molido.

En consecuencia, una tonelada de mineral molido necesita 235 kilógramos de leña y 74 de carbón de piedra.

Término medio 138 kilos. de leña valen $1.00 y la tonelada de carbón de piedra $17.00; de manera que por razón de combustible una tonelada de mineral molido cuesta $1.70 con leña y $1.26 con carbón.

Repartiendo los gastos de administración, generales, de ensaye, alumbrado, etc., etc., á prorrata, entre la molienda y el beneficio, resulta el costo de molienda, término medio, á razón de 49 centavos por 138 kilógramos de mineral molido.

Hacienda de la Unión.

En la hacienda de la Unión se grancean los minerales en quebradoras Blacke, y la molienda se efectúa en molinos chilenos de dos ruedas cada uno. El peso del centro y llanta de cada rueda es próximamente de 5 toneladas. Las ruedas están montadas con una ligera inclinación sobre la vertical y sobre ejes excéntricos. El diámetro de las llantas es de $2^{m}.50$, su anchura de $0^{m}.40$ y su espesor de $0^{m}.14$. Se desechan cuando el espesor se reduce á $0^{m}.0256$. Son de acero y pesan 2 toneladas.

Hay 9 molinos capaces de una molienda de 75 á 80 cargas diarias.

Son accionados por un motor de vapor Corliss, el que mueve igualmente el quebrador, un pequeño taller mecánico, dos centrífugas y por la noche un dinamo. Este motor es capaz de 100 á 110 caballos de vapor. Cuando visitamos la hacienda movía únicamente seis molinos, dos quebradores, las dos centrífugas y el taller. Para estudiar su trabajo se sacaron diagramas, los cuales dieron el resultado siguiente:

Molinos grandes con su transmisión.....	11 caballos.
Molinos chicos con su transmisión.....	10 ,,
Taller.....	3 ,,
Quebradora Blacke.....	5 ,,

No fué posible conseguir los datos relativos al costo de la molienda.

Hacienda "Bartolomé de Medina."

Se grancea con quebradora Dodge; capacidad de molienda 200 cargas en 24 horas.

Tiene 4 molinos chilenos patente Mantey, pudiendo moler tres de ellos 1,500 cargas en 6 días, ó sea 80 cargas próximamente por molino y por día.

La molienda sale por término medio, á razón de $0.53 á $0.55.

El motor es horizontal, de dos cilindros dispuestos en tandem; el de alta presión tiene distribución Corliss, el de baja, distribución de cajón. Puede desarrollar una fuerza de 120 caballos. La transmisión se efectúa por medio de bandas.

II

Reacciones Químicas ó sea marcha del Beneficio.

En las haciendas de la Purísima Chica, Purísima Grande, Loreto y Guadalupe, está en práctica el procedimiento de patio. En la Unión el procedimiento Krönke.

En el procedimiento de patio los minerales pulverizados se mezclan con sal marina, sulfato de cobre y mercurio. Como resultado la mayor parte de la plata se separa de sus combinaciones sulfuradas y se disuelve en el mercurio amalgamándose; mas ¿cuáles son las reacciones que se verifican en el patio?

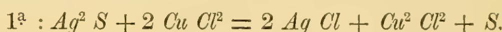
Hasta hoy la cuestión queda en pie. Gran número de experiencias se han hecho, y casi todas han llevado á sus autores á crear otras tantas teorías. Químicos reputados como Roswag, después de exponer varias fórmulas, no se decide por ninguna; dice: "Au lecteur a choisir" (Enciclopedia química, de Fremy. Métallurgie de l'argent par Roswag pag. 297.)

Rammelsberg se expresa así: "Gran número de errores se han cometido por Malaguti y Durócher y otros, respecto á la acción del cloruro cuproso en mezclas conteniendo sulfuro de plata. Dicen que la plata es puesta en liber-

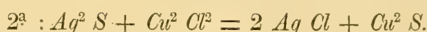
tad al estado metálico. Bajo este supuesto, han establecido varias teorías respecto al procedimiento de amalgamación. Estos errores han sido originados por haber empleado *Az* H^3 como agente en las investigaciones de la acción del $Cu^2\ Cl^2$ sobre el $Ag^2\ S$. El *Az* H^3 siendo un disolvente de *Ag Cl*, creyeron que si el último se formaba por la acción del cloruro cuproso sobre el sulfuro de plata, podía ser disuelto por el *Az* H^3, y entonces descubierto por precipitación según el método ordinario.

Pero cuando se agrega *Az* H^3 á una mezcla de *Ag Cl* y $Cu^2\ S$ hay lugar á doble descomposición, volviendo á regenerarse $Cu^2\ Cl^2$ y $Cu^2\ Cl^2 + Ag\ Cl$".

El mismo químico al investigar la acción de los cloruros cúprico y cuproso sobre el sulfuro de plata, la expresa por las siguientes fórmulas:

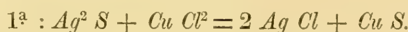


$$1^a : Ag^2\ S + 2\ Cu\ Cl^2 = 2\ Ag\ Cl + Cu^2\ Cl^2 + S.$$

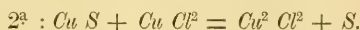


$$2^a : Ag^2\ S + Cu^2\ Cl^2 = 2\ Ag\ Cl + Cu^2\ S.$$

En las experiencias hechas por el Profesor Huntington, se ve que la libertad del *S* es completamente debida á una reacción secundaria que tiene lugar imitadamente, y que puede expresarse así:



$$1^a : Ag^2\ S + Cu\ Cl^2 = 2\ Ag\ Cl + Cu\ S.$$



$$2^a : Cu\ S + Cu\ Cl^2 = Cu^2\ Cl^2 + S.$$

"La segunda reacción tiene lugar á medida que se produce la primera, la efectuarse la doble descomposición entre el cloruro cúprico y el sulfuro de plata, sucediendo que algo más de cloruro cúprico es llevado por el *Cu* del sulfuro correspondiente á cloruro inferior, de preferencia á combinarse ese *Cu* al *S* del sulfuro de plata; de tal manera que, en resumen, se produce *Ag Cl*, $Cu^2\ Cl^2$ y *S* libre."

Como se ve, las experiencias de Rammelsberg son de gran peso en favor de la cloruración de la plata.

Los elementos que se encuentran en presencia en el beneficio de amalgamación son los siguientes:



$$Na\ Cl;\ Cu\ O,\ SO^3;\ Hg \text{ y } Ag^2\ S.$$

Es universalmente admitido que la primera reacción efectuada es la que expresa la siguiente fórmula:



$$8\ Na\ Cl + 4\ (Cu\ O,\ SO^3) = 4\ Cu\ Cl^2 + 4\ (Na^2\ O,\ SO^3) \text{ (Grützner).}$$

El color verde que aparece justifica esta reacción.

¿Mas cuáles son las reacciones que inmediatamente siguen?

¿Tienen lugar incontinenti las acciones de los cloruros cúprico y cuproso sobre el sulfuro de plata?

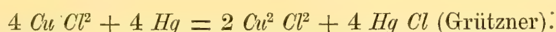
Es perfectamente conocida la resistencia de los compuestos naturales á en-

trar en reacción, y el tiempo que dura el beneficio es sin duda una prueba de la lentitud de las transformaciones que allí se efectúan; por el contrario, la acción de los metales sobre el bicloruro es muy enérgica y empieza tan pronto como se encuentran en presencia; ¿no es pues natural creer que la reacción que inmediatamente tiene lugar es la del *Hg* sobre el bicloruro?

Hemos observado el hecho siguiente: al incorporarse una torta, en los lugares en que ésta ha quedado con gran cantidad de agua, y por lo mismo la solución de *Na Cl* diluída, se forma tan luego como cae el *Hg* un precipitado blanco. Para nosotros este precipitado es el cloruro cuproso, formado por la acción reductora del *Hg* sobre el bicloruro, y que debido á dilución de la solucion de *Na Cl* ha podido formarse.

Una prueba de la energía de la acción que los metales ejercen sobre el bicloruro, es la siguiente: Cuando una torta se calienta, el *Hg* se ataca fuertemente; se corrige este mal echando *Cu* precipitado. ¿Cuál es la acción de este cobre? Es evidente que transforma el bicloruro activo en cloruro cuproso inerte.

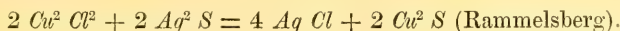
Creemos pues, que la segunda reacción que tiene lugar es la siguiente:



$$4\ Cu\ Cl^2 + 4\ Hg = 2\ Cu^2\ Cl^2 + 4\ Hg\ Cl \text{ (Grützner).}$$

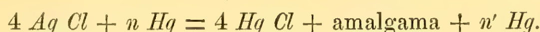
La acción reductora del *Hg* la ejercen también, sin duda, el *Fe* y la *Ag* que al estado metálico puedan encontrarse; pero siendo su cantidad insignificante en comparación con la del *Hg*, la acción de este debe predominar y por eso solamente esa expresamos en la fórmula.

La reacción siguiente es la del cloruro cuproso sobre el sulfuro de plata, expresada por la fórmula.



$$2\ Cu^2\ Cl^2 + 2\ Ag^2\ S = 4\ Ag\ Cl + 2\ Cu^2\ S \text{ (Rammelsberg).}$$

Y por último tenemos:



$$4\ Ag\ Cl + n\ Hg = 4\ Hg\ Cl + \text{amalgama} + n'\ Hg.$$

El *Hg* de la última reacción y el de la segunda, es perdido por completo; el consumido químico es pues, para un equivalente de *Ag*. dos de *Hg*; ó sea para 108 de *Ag*, 200 de *Hg*, ó para 1 de *Ag*, 1,85 de *Hg*.

En las haciendas de beneficio admiten que el consumido químico es en peso igual al peso de la plata obtenida; como se ve esto es un error, y error no despreciable: sin embargo, para hacer su liquidación en nada afecta tal suposición, pues el error que por defecto cometen al valuar el consumido químico lo cometen por exceso al valuar la pérdida mecánica, puesto que ésta la obtienen por diferencia.

Para más claridad pondremos un ejemplo.

HACIENDA DE LA PURÍSIMA GRANDE,

Torta núm, 902.

Reconocimiento.

Empleo		6,200 libras.
Patio, pella	1,782	
Azogue filtrado	3,785	5,567 ,,
Diferencia, ó sea pérdida en el patio		633 ,,

Capellina.

Entró pella		1,782 libras.
Salió rosca	420	
Azogue	1,362	1,782 ,,

1782 es $Hg + Ag$ ó sea la amalgama; como toman el Hg perdido (consumido químico) igual al peso de Ag obtenida, entonces 1,782 viene á ser Hg que forma la amalgama, más Hg (consumido químico). A esto agregan el Hg filtrado, y comparado todo con el Hg empleado, obtienen una diferencia (en nuestro caso 633) que llaman pérdida en el patio. La pérdida total será pues: 420 de consumido químico, puesto que es el peso de plata obtenido más 633 de pérdida en el patio, igual á 1,053.

Si conforme con las fórmulas establecidas valuamos la pérdida química, tendremos: Ag producida 420; como el coeficiente es 1,85, el consumido químico será 777. Según el reconocimiento de capellina, el Hg de la amalgama es 1,362, y como el azogue filtrado es 3,785, la suma total, que es 5,924, comparada con 6,200 (Hg empleado), da por diferencia 276 que es la pérdida verdadera en el patio; pero $777 + 276 = 1{,}053$; luego para la liquidación puede aceptarse el modo de verificación usado.

Uno de los reactivos que debe emplearse con cuidado es el sulfato de cobre. En efecto, si hay un exceso, se tienen fuertes pérdidas de Hg; si por el contrario falta, las reacciones marchan lentamente, y afectan, como es natural la ganancia que puede obtenerse en un tiempo dado; pues es claro que mientras mayor sea el número de cargas que en el mismo tiempo se beneficien, mayor será la utilidad. Debo advertir que si la falta de reactivo no paraliza el beneficio, es debido á la acción oxidante del aire sobre el sulfuro de cobre formado en el curso de las reacciones, y sobre el que ya existe en el mineral; fórmase bajo esta acción sulfato, que $Na\ Cl$ transforma en bicloruro, pudiéndose así continuar las reacciones.

Es pues conveniente conocer la relación teórica que debe haber entre la plata y el sulfato.

Según las fórmulas anteriores, para un equivalente de Ag es necesario uno de Cu, ó sea, para uno de Ag, $\frac{32}{108} = 0.296$ de Cu; pero para 32 de cobre se necesitan 125 de sulfato, luego para 0.296 de Cu, ó uno de Ag, se necesitan $\frac{0{,}296 \times 125}{32} = 1{,}2$ de sulfato químicamente puro.

Esta es sin duda la cantidad mínima que debe ponerse.

Veamos ahora cuál es la marcha seguida en las haciendas.

Las lamas procedentes de la molienda se depositan en tanques llamados lameros, donde se almacena la cantidad de carga de que se quiera formar la torta. Se decanta sucesivamente el exceso de agua que tenga la molienda y, finalmente, se saca al patio. Por evaporación al aire libre se deseca la lama hasta que adquiera la pastosidad conveniente al beneficio. Para conseguir más fácilmente esta pastosidad, debe revolverse la torta lo mejor posible, á cuyo efecto se le dan de día los repasos necesarios y en la noche se quita el agua que suelta. Esta operación se llama *sangrar la torta.*

Para sacar las lamas al patio se hace uso de "Camones," tablas de encino aproximadamente de $0^{m.}305$ de ancho, $0^{m.}051$ de espesor y $1^{m.}829$ de largo. Se emplean para este servicio mulas ó caballos. Por medio de cadenas se sujetan los camones á las colleras, y al tirar los caballos arrastran los camones que empujan delante de sí una porción de lama.

El patio es una superficie plana ligeramente inclinada desde los lameros hasta el lavadero para facilitar la salida de las lamas y su lavado después de beneficiadas.

La superficie del patio se pavimenta con madera ó losa. Los pisos de madera se hacen con tablas de $2^{m.}30$ de largo, $0^{m.}457$ de ancho y $0^{m.}075$ á $0^{m.}09$ de espesor. Se prepara el subsuelo estableciendo cortinas de mampostería con equidistancia de $1^{m.}25$ y una altura que depende de la naturaleza del terreno. Sobre las cortinas se sientan los durmientes y se rellena entre cortina y cortina hasta el nivel superior de los durmientes, pisoneando suficientemente. Los durmientes son de madera con sección de $0^{m.}305$ por $0^{m.}152$, ó $0^{m.}254$ por $0^{m.}152$, ó $0^{m.}152$ por $0^{m.}152$. Sobre los durmientes se fijan las tablas con clavos, ó mejor con tarugos ó clavijas de madera; procurando siempre que quede un durmiente abajo de las cabeceras de dos tablas á lo largo. El empalme de las tablas se hace ó de caja y espiga longitudinal, ó con ranuras longitudinales en una y otra en la parte media del espesor y próximamente de $0^{m.}013$ de ancho y $0^{m.}026$ de profundidad. Entre dos tablas contiguas se introduce una tira de madera llamada *lengua* de $0^{m.}013$ de espesor y $0^{m.}052$ de ancho, que es la que ajusta el empalme. Estos pisos tienen la ventaja de que al humedecerse se ajustan perfectamente evitando la salida del mercurio y además conservan constantemente su nivel.

En los pisos de losa, se pisonea la superficie de que se disponga y sobre ella se colocan las losas junto con una argamasa compuesta de tezontle y cal. Esta junta no es muy duradera, se desprende fácilmente y proporciona la salida al mercurio. Bajo este concepto es preferible el piso de madera. Los pisos de losa presentan también el inconveniente de que al sentarse el subsuelo se sientan las losas, produciendo huecos que son molestos é incómodos para el lavadero. Duran más que los pisos de madera, pero como la principal economía que debe buscarse es la menor pérdida posible de mercurio, parecen preferibles estos últimos, máxime si se vigilan cuidadosamente para refaccionarlos ó reponer las tablas que se quiebren.

Se limita la superficie que debe ocupar una torta por medio de vigas dispuestas en trincheras que se fijan, sirviéndose preferentemente de cuerpos pesados, pues la costumbre de fijarlas con clavos como de 0.90 de largo, es nociva, porque destruye rápidamente los pisos. Se calcula esta superficie de manera que la torta quede con un espesor de $0^{m}\cdot20$ á $0^{m}\cdot30$ dejando al rededor una faja libre de $0^{m},80$ á $0^{m},90$ para el repaso mejor de las orillas.

Cuando la torta ya está en estado conveniente de pastosidad, se procede al incorporo de los ingredientes: sal, sulfato y mercurio; las proporciones en que éstos se mezclan varían entre los límites siguientes: sal 34½ á 92 kilos por 1,380 kilos de mineral, 2.5 á 6.7 por ciento; sulfato 2.3 á 4.6 kilos por 1,380 kilos de mineral; mercurio 3 kilos 220 gramos á 4 kilos 140 gramos por 460 gramos de plata, sea de 7 á 9 kilos de mercurio por kilo de plata.

Se agrega la sal distribuyéndola de manera que quede igualmente repartida en la torta. Al efecto se forman tantos montoncitos cuantos sacos de sal hayan de ponerse, reservando tres ó cuatro para la distribución del sulfato. Se procurará que los montoncitos de sal queden equidistantes. Se la extiende en seguida con la pala para cubrir los intermedios. En seguida se agrega el sulfato revolviéndolo de antemano con la sal que se ha reservado, se divide la torta en cuatro partes y á cada una se le pone la cuarta parte de sulfato, regándolo uniformemente. Se repasa para borrar la sal y el sulfato, y en seguida se pone la tercera parte ó la mitad del mercurio que deba emplearse. Este se introduce por medio de paños ó lienzos que sirven de bolsa al mercurio que, por su peso y el movimiento del balanceo que le da el peón, sale bajo forma de lluvia menuda á regar la torta. Se repasa para borrar el mercurio y se voltea la torta sin interrumpir el repaso. Dura cada repaso de 7 á 8 horas, y el número de caballos varía con las dimensiones de la torta; 30 caballos para una torta de 166 toneladas, sin que haya proporcionalidad. Antes de terminar el trabajo del día, se procede á echar al centro como un metro de la orilla de la torta, porque siendo las orillas las menos repasadas, deben ir al centro para uniformar el trabajo; y si la torta se seca mucho se la riega con agua y se deja perfectamente bien incorporada. Al día siguiente se continúa el trabajo de vuelta y repaso.

Respecto del agua, cuando se desee que una torta entre en beneficio rápido, ó avance más, se procurará llevarla dura; pero siempre á un grado tal que el caballo alcance con las pezuñas el piso del patio.

El carácter del beneficio se juzga por una operación llamada *tentadura*, que se repite dos ó tres veces por día. Se toman porciones de materia de diferentes puntos de la torta y se ponen en una jícara. Se la trabaja en seguida en una bandeja de agua lavándola para aislar principalmente el glóbulo de mercurio y la liz, que es mercurio sumamente dividido. El examen de estas dos partes de la tentadura resuelve el estado del beneficio.

Como es difícil introducir la cantidad de sulfato estrictamente necesaria, se está obligado á llevar la torta con un ligero exceso ó un ligero defecto. Un ligero exceso se manifestará por el color aperlado del glóbulo de mercu-

rio y porque la liz también aperlada, lima. Una liz lima, cuando restregándola con el pulgar contra las paredes de la jícara abandona pella seca, "pasilla." Comprimiendo el glóbulo de mercurio, humea y restregándolo se percibe una huella blanquecina en las paredes de la jícara. El humo y la huella parecen ser calomel, y tal vez una sal de cobre y mercurio. Un ligero defecto, se revela por el aspecto brillante del glóbulo de mercurio y porque la liz lima en muy pequeña cantidad. Al correr el glóbulo en la jícara, hace *cola* con ligeros visos amarillentos que acusan un subóxido de mercurio y cobre.

Se llevará la torta con un ligero defecto de reactivo cuando se disponga de bastante caballada para repasarla suficientemente y que tal accidente se manifieste no estando la torta dura, puesto que llevándola á este estado se activa la energía del reactivo, acercándose á la marcha regular del beneficio sin adicionarle sulfato, cuyo empleo es peligroso en este grado del accidente.

Si la torta se lleva con un ligero exceso de sulfato, las reacciones son más enérgicas. Deben darse repasos moderados y evitar que la torta endurezca. El mercurio se expone á mayores pérdidas que en el caso de un ligero defecto de reactivo, la acción desmineralizadora es más enérgica y el beneficio marcha más aprisa. El azoguero ó beneficiador, teniendo en cuenta los factores tiempo y pérdida de mercurio, resolverá por cuál de las dos formas se decide: si por un ligero exceso ó un ligero defecto de sulfato.

El examen de tentaduras se completa con el ensaye de pella, por medio del cual se sabe el avance de la torta de un día á otro y aun de la mañana á la tarde. Cuando no se notare ningún adelanto ó un adelanto insignificante, y se haya diagnosticado un ligero defecto de reactivo, se recetará un repaso fuerte ayudado con la adición de una pequeña cantidad de sulfato.

El ensaye de pella se hace como sigue: Se saca una tentadura en cantidad suficiente para que se pueda tomar una muestra como de 230 gramos. Se lava muy cuidadosamente para que no se pierda nàda de mercurio ni de liz. Se juntan estos en un solo botón ó glóbulo que se lleva á la oficina del laboratorio; se seca con papel Joseph ó en escorificadores secos y se pesa. En seguida se somete á la acción de un fuego moderado para que pierda la mayor parte del mercurio. La pella en este estado, enteramente sólida, se mete á la mufla para determinar la eliminación completa del mercurio. El botón de plata obtenido se llama *rosca*. Se pesa, y con este segundo dato y el "empleo" (cantidad total de mercurio puesta á la torta), se procede al cálculo de la fórmula siguiente:

$$Ag = \frac{Em \times R.}{B + \frac{1}{n} R}$$

Ag = Plata amalgamada en la torta.
R = Rosca ó botón de plata obtenida de
B = Glóbulo de amalgama procedente de la tentadura
Em = Empleo
$\frac{1}{n}$ = Pérdida mecánica de mercurio por cada 230 gramos (1 marco de plata).

En los beneficios buenos ordinarios la pérdida total no excede de 345 gramos por cada 230 gramos de plata. Por tanto, la pérdida mecánica varía de 0 á 115 gramos; y el valor medio probable de $\frac{1}{n}$ es de 57.5 gramos (2 onzas) igual á $\frac{1}{4}$ de 230 gramos (1 marco).

Ex: $Em =$ 2,300 kilógramos.
B = 1,340 milígramos.
R = 133 milígramos.

$$Ag = \frac{2300 \times 135}{1340 + \frac{135}{4}}$$

En lugar de pesar la rosca simplemente desazogada es preferible copelarla, agregando un poco de plomo á la copela cuando ya tenga la temperatura conveniente. Resulta: 1º la completa seguridad de que no hay nada de mercurio y 2º que en el cálculo se obtiene el número de kilos finos ó verdaderos, contenidos en la torta.

Deducción de la fórmula: Ag, Em, B y $\frac{1}{n}$ con los significados anteriores.

P = Pella total de la plata.
C = Consumido. Pérdidas química y mecánica. La pérdida química es de 1 á 1.

$$P : B :: Ag : R. \quad Ag = \frac{P \times R}{B} \quad (1)$$

$$P = Em + Ag - C; \; C = Ag + \frac{1}{n} Ag \text{ (Relación en peso).}$$

$$P = Em + Ag - Ag - \frac{1}{n} Ag = Em - \frac{1}{n} Ag$$

Sustituyendo en (1):

$$Ag = \frac{(Em - \frac{1}{n} Ag)\, R}{B}$$

$$B \times Ag = Em \times R - \frac{1}{n} Ag \times R; \quad B \times Ag + \frac{1}{n} Ag \times R = Em \times R;$$

$$Ag\,(B + \frac{1}{n} R) = Em \times R.$$

$$Ag = \frac{Em \times R.}{B + \frac{1}{n} R}$$

El rigor de esta fórmula no es matemático, porque entre sus datos está el valor hipotético del consumido que, como se reflexiona, es variable.

Sirve industrialmente para saber aproximadamente la cantidad de plata que se puede sacar de la torta el día del ensaye y para conocer el término del beneficio por la repetición de los resultados, suponiendo una buena marcha. Esta segunda aplicación es interesantísima, porque si la mufla indica que el beneficio ha terminado y no se procede al lavado en atención á que el re-

siduo de la torta acusa una ley alta, se expondría el mercurio á fuertes pérdidas por las acciones mecánico-químicas del trabajo de la torta. Este caso se presenta con molienda gruesa ó minerales rebeldes. De lo expuesto se desprende, que la práctica comunmente observada para juzgar que una torta ha rendido ó que el beneficio ha terminado, por la extinción completa de la limadura, es generalmente nociva, puesto que el trabajo mecánico ulterior al término de un beneficio tiende únicamente á subdividir el mercurio haciendo que la limadura ruede, y esta subdivisión implica naturalmente una mayor pérdida de mercurio.

La limadura, que es un magnífico signo para reconocer que una torta entra en beneficio, si persiste cuando el ensaye de pella indica que este ha terminado, revela condiciones químicas desfavorables. Se observa también cuando una torta está *tocada* (que tenga sulfato en ligero exceso); y ya para rendir, que el repaso, subdividiendo el mercurio, tiende naturalmente á subdividir la pella, de manera que hay una apariencia de mayor formación de pella, cuando en realidad sólo hay una subdivisión de la ya formada. En consecuencia, en estas condiciones, no debe considerarse la presencia de la limadura como una señal de trabajo ó adelanto de la torta.

Respecto al mercurio, cuando el glóbulo de amalgama de la tentadura es duro y cristalino y que al comprimirla contra las paredes de la jícara no suelta mercurio en gotas, indica que falta mercurio á la torta y es necesario agregarlo.

Los accidentes del beneficio son los siguientes:

1º—Accidentes ocasionados por falta de sulfato.—(frío).

2º—Accidentes ocasionados por exceso de sulfato.—(caliente).

3º—Acción de las estaciones climatológicas sobre el beneficio.

1º

Por falta de sulfato la torta puede estar: *A*, ligeramente fría; *B*, fría; y *C*, muy fría.

A: ligeramente fría, cuando tiene un ligero defecto de sulfato, de cuyos caracteres y tratamiento ya se habló antes.

B: fría, cuando el glóbulo de la tentadura se presenta envuelto por óxidos de cobre. La producción de plata es escasísima; el mercurio se subdivide de un modo notable y la liz no lima absolutamente; restregando la liz ruedan glóbulos brillantes de mercurio que difícilmente se juntan y hasta se sobreaguan; comprimiendo con el pulgar el glóbulo de la tentadura, se obtiene una pella que contiene gran cantidad de cobre. Tratando el glóbulo por amoníaco, se observa al cabo de algunos instantes una coloración azul que revela en el glóbulo la presencia del cobre á un grado mínimo de oxidación. Se corrige este accidente poniendo la torta más dura, dando repasos fuertes y agregando sulfato en dosis que indica la práctica.

C: muy fría: El máximo de frío se manifiesta por la coloración enteramente negra de la película que cubre al glóbulo de mercurio de la tentadura. El deslizamiento es más fuerte que en el caso anterior; restregando la liz, resbalan glóbulos de mercurio, y al mismo tiempo se desprende un cuerpo pulverulento que ennegrece el agua; no hay nada de plata en la pella, la cual parece ser de puro cobre. Aparece el glóbulo aplastado y al moverlo en la jícara afecta una forma vermicular muy pronunciada. Se corrige con sulfato en dosis adecuadas y repasos.

2º

Por exceso de sulfato la torta puede estar:

A′, ligeramente caliente; B′, caliente, y C′, muy caliente.

A′, ligeramente caliente, cuando tiene un ligero exceso de sulfato, de cuyos caracteres y tratamiento ya se habló antes.

B′, caliente: El glóbulo de mercurio de la tentadura aparece envuelto por una película gruesa de color aplomado, con ligeros reflejos tornasolados, indicando además del calomel, la presencia de un compuesto de cobre. Tratado el glóbulo por amoníaco, se manifiesta inmediatamente una coloración azul; una gran parte del mercurio se junta; el calomel queda en suspensión en el agua, adherido probablemente al mercurio muy dividido que no se junta y el glóbulo toma un aspecto brillante. La liz es abundante y lima mucho; restregándola se enturbia el agua. Comprimiendo la pella, hay igualmente enturbiamiento, y al restregarla contra las paredes de la jícara deja una huella blanco-parduzca. Se corrige este accidente agregando á la torta ya sea precipitado de cobre, cal, un carbonato alcalino ó hiposulfito de sosa.

C′, muy caliente: No hay botón de mercurio, la amalgama se subdivide totalmente en glóbulos más ó menos pequeños y el enturbiamiento es excesivo. Tratado por amoníaco, se obtiene una coloración azul celeste inmediata, y más intensa que en el caso anterior, una parte del mercurio se reune en glóbulo brillante, el calomel es más abundante, lo mismo que el mercurio muy dividido que no se puede juntar. Se corrige este accidente con los mismos reactivos que en el caso anterior, poco repaso y flojas ó muy poco pastosas las lamas.

Respecto al uso de estos reactivos cabe la observación siguiente: La cal, los carbonatos y el hiposulfito, tienden á destruir el subcloruro de cobre precipitando el óxido que es inactivo. El precipitado de cobre obra diferentemente: conserva el subcloruro y aun lo regenera, probablemente á expensas del compuesto que caracteriza una torta caliente, con más su acción química inmediata sobre el cloruro de cobre que transforma en subcloruro.

3º

Las reacciones en la torta son igualmente influenciadas por la temperatura y las condiciones atmosféricas. Las épocas más favorables son, la de la Primavera, Estío y Otoño. En el Invierno, el beneficio es más lento y se presenta el fenómeno singular de que las tortas se calientan en los días de mayor frío. Esto obliga á marchar con poco sulfato, exige una atención constante para componer las tortas calientes y se tarda más tiempo para rendirlas.

En la temporada de aguas se pierde mucho tiempo porque se aflojan las tortas, se disminuye la concentración de los reactivos y se paraliza por consecuencia el beneficio; pero no se observa ningún accidente de frío ó de calor.

Cuando por ensayes de pella y residuo se juzga que el beneficio ha terminado, se procede al lavado de la torta, preparándola de antemano (y esta es la costumbre general) con un baño de mercurio que es próximamente el 50 por ciento del empleo. Se voltea y repasa para incorporar este baño con la amalgama formada. En seguida, se agua suficientemente para aflojar las lamas y se arrastran éstas al lavadero con camones, en el que se pone bastante mercurio para recoger la pella que llevan consigo las lamas. Los lavaderos en el beneficio de patio se conocen con el nombre de lavaderos de cajón.

En la hacienda de la Purísima Chica, terminado el trabajo de patio, se aflojan un poco las tortas, de manera que no se pueda asentar el mercurio, y con bateas largas (tepestates) se echan las lamas en un primer cajón, en donde se hace llegar una cantidad de agua suficiente para aflojar completamente las lamas. Estas siguen por unas canales hasta el lavadero de cajón. A este lavadero se hace llegar agua por una canal opuesta á la en que vienen las lamas, de modo que las dos corrientes de agua y lamas caigan juntas á un *chiflón*. Para emplear poco mercurio en el lavadero, consiguiendo bastante altura, se pone abajo del chiflón un cajón de un metro cuadrado de superficie con mercurio, y un peón está allí removiendo constantemente las lamas para facilitar la incorporación de la pella. Al salir del lavadero la descarga pasa por una serie de *apuros* donde se pone mercurio, sobre todo en los primeros.

El trabajo se hace con peones que remueven constantemente las lamas.

Según la docilidad de los minerales, la habilidad del encargado del beneficio y las condiciones atmosféricas, una torta tarda para rendirse de 2 á 7 semanas. Se ve pues, que al procedimiento de patio es inherente el inconveniente de exigir mucho tiempo, ocasionando grandes pérdidas de mercurio y plata.

III, IV y V.

Separación de la amalgama del exceso del mercurio, destilación del mercurio de la amalgama y fundición de las barras.

Por filtración se separa la amalgama del exceso de mercurio, sirviéndose de sacos cónicos de tela llamados *mangas* que se suspenden á un anillo de

fierro. El peso de la amalgama que admiten, basta para determinar la filtración de la mayor parte del mercurio, el cual se recoge en un recipiente colocado abajo de la manga.

En seguida se destila la amalgama, sea en retortas de fierro horizontales, cuyo tubo de desprendimiento se somete á la acción refrigerante de una corriente continua de agua que determina la condensación del mercurio, ó bien colocando la amalgama en platillos de fierro puestos unos sobre otros y tapados por una campana vertical de fierro llamada *capellina*, todo cubierto por otra campana que comunica de un lado con el horno y del otro con la chimenea. El mercurio se condensa "per descensum" y se recoge en recipientes "ad hoc." La condensación se efectúa por la acción refrigerante de una corriente de agua.

La relación por ciento de la pella sometida á la destilación con la plata rosca obtenida, varía de 22 á 25.5. Frotando la plata rosca, hay un olor bastante perceptible de ácidos sulfhídrico y sulfuroso.

En hornos de viento se funde con bórax la plata rosca en crisoles de plombagina, y la plata fundida se cuela en *rieleras*, cuyas dimensiones varían según el tamaño de las barras que se deseen.

En la hacienda de la Purísima Chica el costo de beneficio por 138 kilos es, término medio, de $0.75, y en la hacienda de Guadalupe, también término medio, es de $1.09.

Estas dos haciendas benefician á maquila, de manera que la utilidad líquida que perciben por unidad de carga depende de las condiciones mismas de la maquila.

El rendimiento en plata en el procedimiento de patio, es de 88 á 90 por ciento de la ley. La pérdida efectiva es siempre menor que la indicada por el ensaye de residuos, porque el resultado es favorecido por error docimástico, que varía de 2.5 á 3.00 por ciento.

Los residuos comunes acusan una ley de 99 gramos de plata por tonelada. Un residuo de 67 gramos por tonelada es raro y de 83 gramos es bueno. Un residuo de 166 gramos es malo, mayor es inaceptable y menor tolerable.

Estos residuos se concentran en *planillas*. Consiste la planilla en una área plana ligeramente inclinada, de 3 metros de largo por 2 metros de ancho. En su extremidad inferior hay un recipiente con agua. Se hace un montón de lama en la parte superior de la planilla, y un peón hace la operación de lavado con una jícara ó una cuchara de cuerno. Como resultado de esta concentración, se obtiene una poca de amalgama escapada del lavadero y sulfuros argentíferos llamados *polvillos*. Estos polvillos ó se exportan ó se benefician mezclándolos con las lamas que salen de los aparatos de molienda.

En la hacienda de la Purísima Chica el trabajo de planillas es á contrata. Cuetsa, término medio, $80.00 semanarios, recogiéndose de 2 toneladas 75 kilos á 2 toneladas 760 kilos de polvillos "de siete aguas" y 4.5 á 5.5 kilos de pella.

En las haciendas de la Pusísima Grande y Loreto, las operaciones no presentan variantes con las ya descritas.

Ponemos á continuación la historia de varias tortas de las respectivas haciendas, con el objeto de que sea fácil comparar la marcha del beneficio.

Purísima Chica.

Torta núm. 324. Metal del Bordo. 1,200 cargas, gabarro. Ley de lamas 3.70 marcos por montón. Contenido 444 marcos.

1895.		Sal @.	Sulfato libras.	Hg. libras.
Marzo 5......	....	900	700	......
„ 6......	Incorporo..	......	......	2,500
„ 10......	Baño	......	......	2,000
„ 12......	Canales.......	......	......	2,000
	Total......	900	700	6,500

Liquidación.

Pella al fuego	1,244	libras.
Azogue..	5,157	„
Pérdida patio..	99	„
Suma..........................	6,500	
Hg perdido en patio......................................	99	libras.
Consumido químico......................................	205	„
Capellina..	3	„
Total...........................	307	libras.

Siendo 409.68 marcos la *Ag* producida, la pérdida *Hg* por marco de plata es de 12 onzas.

La pérdida de *Ag* es de 7.72 por ciento.

Guadalupe.

Torta núm. 1,143. Metal de Santa Gertrudis. 1,248 cargas de tierras y 752 de gabarro. Ley de lamas 9.20 marcos por montón. Contenido 1,840 marcos.

1896.		Sal @.	Sulfato libras.	Hg. libras.
Abril 1°.......	....	1,200	3,000	......
„ 11.......	Incorporo..	....	....	5,000
„ 12.......	....	250	200	....
„ 15.......	....	50	75	....
„ 23.......	....	50	100	....
„ 24.......	Incorporo..	....	....	2,350
„ 28.......	....	50	125	....
Mayo 14......	Baño	....	....	1,840
„ 18.....	Canales	....	....	4,700
	Total.....	1,600	3,500	13,890

Duró el beneficio 38 días.

Reconocimiento.

Sal consumida, 8 arrobas por montón.
Sulfato, 17 libras 8 onzas por montón.

Empleo		13,890 libras.
Patio, pella	3,223	
Hg filtrado	10,238	13,461 „
Pérdida patio		429 „

Capellina.

Entró pella		3,223 libras.
Salió rosca	796.4	
Azogue	2420.0	3.216.4 „
Pérdida capellina		6.6 „
Plata producida		1592.8 marcos.
Pérdida por ciento		13.4
Pérdida total de *Hg*		1,232 libras.
Pérdida por marco de *Ag*		12,4 onzas.

PURÍSIMA GRANDE.

Torta núm. 902. Mina de Cal y Canto. 1,200 cargas tierras. Ley de lamas 7.70 marcos. Contenido 924 marcos.

1896.		Sal @.	Sulfato libras.	Hg. libras.
Mayo 14		840	600	....
Mayo 15	Incorporo	......	......	1.500
Mayo 22		......	30	....
Mayo 28	Incorporo	......	......	2,200
Junio 3		......	25	....
Junio 5		......	25	....
Junio 11	Baño	......	......	1,800
	Canales	......	......	700
	TOTAL	840	680	5,200

Reconocimiento.

Empleo		6,200 libras.
Patio, pella	1,782	
Hg filtrado	3,785	5,567 „
Pérdida patio		633 „

Capellina.

Entró pella......................................		1,782 libras.
Salió rosca......................................	420	
Azogue......................................	1362	1,782 ,,
Plata producida......................................		840 marcos.
Pérdida por ciento......................................		9.1
Pérdida total de *Hg*......................................		1,053 libras.
Pérdida por marco de plata......................................		12.7 onzas.

LORETO.

Torta núm. 2,737. Metal de Barron. 405 cargas gabarro, 405 de tierras. Ley de lamas 7.40 marcos por montón. Contenido 599 marcos.

1896.		Sal @.	Sulfato libras.	Hg. libras.
Mayo 21......	....	405	500	....
Mayo 22......	Incorporo..	......	......	2,100
Junio 17......	Baño..	......	......	1,500
Junio 18......	Canales.....	......	......	2,000
	TOTAL......................................			5,600

Reconocimiento.

Empleo......................................		5,600 libras.
Patio pella......................................	1,355	
Horruras......................................	2	
Azogue......................................	4,045	5,402 ,,
Pérdida patio......................................		198 ,,

Capellina.

Entró pella......................................		1,355 libras.
Salió rosca......................................	300	
Caídos......................................	22	
Azogue......................................	1,033	1,355 ,,

Plata producida, 601 marcos; dos marcos más de los indicados por el ensaye.

Pérdida total de *Hg* 499 libras ó sea 13.3 onzas por marco de plata.

No es raro que en las haciendas resulte más plata de la que indica el ensaye, siendo esto una prueba inconcusa de su poca exactitud; y como estos ensayes sirven de base para valuar la pérdida de plata, tal valuación es solo aproximada.

El beneficio sale en Loreto á razón de $1.70 por carga y en Guadalupe á $1.21.

Por término medio el beneficio en las haciendas de Pachuca sale á $1.50 la carga; según esto la ley que igualaría sus gastos sería la de 15 onzas por montón; pero siendo la pérdida de plata el 7 por ciento, la ley mínima sería 16 onzas ó 2 marcos por montón.

Tenemos que agregar aquí algunas notas complementarias, de cómo es practicado el beneficio en otras haciendas.

En la hacienda de la Unión. el mineral pulverizado á un grado de finura suficiente es llevado por una corriente de agua á unos lameros, cayendo alternativamente de unos á otros. Cuando un lamero se llena, se extienden las lamas sobre una superficie plana para que se sequen.

Cuando el grado de humedad que conservan es de un 2 por ciento, se pulverizan á golpe con palas ó rastrillo.

El beneficio se hace en 13 toneles, cada uno de los cuales tiene una capacidad de 4 toneladas 460 kilos, con longitud de 2.50 metros y diámetro de un metro 90 centímetros. Durante el beneficio giran con una velocidad de 4½ revoluciones por minuto.

La cantidad de lama que corresponde á cada tonel se deposita en las tolvas de carga. Se introduce en el tonel la cantidad de agua hirviendo que sea necesaria para que la lama en beneficio tenga una humedad de 30 por ciento, se añade la sal y *el reactivo*, se tapa y se hace girar para disolver la sal y extender el reactivo á toda la solución, persiguiendo la repartición igual para obtener un incorporo homogéneo de las lamas. Esta operación dura una media hora. Se para el tonel para introducir las lamas y se continúa el movimiento. Una hora después se reconoce si las lamas tienen la humedad indicada. Satisfechas las condiciones requeridas, se agrega todo el mercurio, cuya cantidad depende naturalmente de la ley. (Opinan algunos que se disminuyen las pérdidas en mercurio empleando zinc en tiras delgadas y cobre precipitado ó en amalgama).

Se prepara el reactivo usado en este procedimiento de la manera siguiente: Se pone sulfato de cobre con el doble de su peso de sal marina en agua ligeramente acidulada con ácido sulfúrico, y en cantidad suficiente para que se disuelvan (6 kilos de sulfato, 12 kilos de sal y 500 gramos de ácido sulfúrico para 4 toneladas 140 kilos de lama). Se calienta inyectando vapor por medio de un tubo de madera y se suspenden unas láminas de cobre. Pasado algún tiempo se inicia la formación del subcloruro de cobre, lo cual se conoce por el cambio de color de la solución, y el final de la reacción se acusa por el precipitado lechoso abundante que forma una gota sobre agua fría exenta de sal y ácido. Se reconoce igualmente el fin de la reacción empleando el amoníaco. El reactivo debe usarse inmediatamente para evitar su alteración. Puede conservarse hasta dos días añadiendo hiposulfito de sosa (próximamente 1 kilo para los datos antes mencionados).

La cantidad de sal empleada para metales comunes cuya ley no exceda de 1.5 á 2 kilos de plata por tonelada, es generalmente de 3.3 á 4.2 por ciento.

Terminado el trabajo de toneles se lava para recoger la amalgama. Se fil-

tra en seguida para separar el exceso de mercurio y se destila. La plata rosca obtenida se funde con nitro y bórax.

Los toneles y lavaderos son accionados en la hacienda de la Unión por una máquina Corliss–Compound, con fuerza de 150 á 170 caballos de vapor. Moviendo los 13 toneles se sacó un diagrama con indicador Tabor, usando en el cilindro de alta presión, resorte núm. 60, y en el Compound resorte núm. 10. Se obtuvo el resultado siguiente: $I \times H \times P =$ 63.845 caballos indicados.

En la hacienda de Bartolomé de Medina el beneficio se hace por panes y toneles.

Los panes son continuos, en número de 6 y tienen de capacidad un montón y tercio.

Tienen dos *settlers* para los seis panes.

Los toneles son siete; 5 de 25 cargas y 2 de 30.

Usan como reactivo el cloruro cuproso previamente preparado, y por *Hg* la amalgama que sale de los panes.

Benefician 1,500 cargas semanarias.

La pérdida de *Hg* en los toneles es de 10 onzas por marco de *Ag* y de 8 en los panes.

El costo de beneficio es de $1.40 por carga.

Para estudiar detenidamente el beneficio de panes hemos elegido las haciendas de San Francisco de Maravillas y Progreso, por ser el único método que en ellas se sigue y porque siendo bastante modernas las instalaciones, reunen todas las mejoras que en dicho sistema de beneficio se han introducido.

El sistema de panes aplicado por primera vez en el Distrito de Washoe en 1861, ha tomado un gran desarrollo debido á la facilidad y economía con que se efectúa la amalgamación. Gradualmente se ha ido modificando sobre todo en la parte mecánica, á medida que la experiencia indicaba los defectos de los aparatos sucesivamente empleados. Como el calor favorece las reacciones químicas que en los panes se verifican, se calentaban éstos haciendo llegar al pan el vapor de escape de la máquina motriz; pero se observó que la grasa que el vapor acarreaba, dificultaba la amalgamación, y entonces, el pan empezó á ser calentado con agua y vapor que se hacían llegar directamente de la caldera. Este medio de calentamiento tenía el inconveniente de disminuir el grado de fluidez de la lama, siendo además poco económico; entonces se empezaron á usar los dobles fondos de fierro, haciendo circular el vapor por el espacio libre entre ellos, pudiendo así utilizarse sin inconveniente el vapor que salía de los cilindros.

Buscando el mejor medio de producir una agitación constante y un perfecto contacto entre la lama y el mercurio, se fueron modificando poco á poco los fondos, los *mullers* (caballos), en fin, todás las piezas del pan, dando lugar á una serie numerosa de patentes más ó menos ventajosas.

Finalmente, procurando simplificar el procedimiento lo más que fuera posible, sistematizarlo, evitar transporte de lama, mercurio y simplificar otras

operaciones manuales, el Sr. M. P. Boss llegó á á reunir á la sencillez en la instalación y en la marcha, todas las condiciones que tienden á aumentar el rendimiento.

Las principales ventajas del procedimiento continuo ó *sistema Boss*, sobre la amalgamación no continua, son: menor gasto de trabajo mecánico, de combustible y de azogue, y mayor rendimiento.

El grado de fluidez de la lama, que debe ser tal que le permita correr fácilmente de un pan al siguiente, hace que la resistencia al movimiento de los mullers y la inercia de la pulpa sean menores, y naturalmente se disminuye el esfuerzo necesario y por consiguiente el combustible quemado. La misma fluidez de la lama hace su movimiento más fácil, pudiendo ser lanzada del centro del pan á la circunferencia por debajo del muller para volver al centro del pan por la superficie superior, donde encontrando menor agitación vuelve al fondo y se pone otra vez en contacto íntimo con el azogue, al pasar del centro á la circunferencia por debajo del muller.

El mercurio se encuentra en un medio que le permite reunirse con facilidad, y como además el pan tiene la disposición necesaria para que el muller se aproxime ó se aleje más ó menos del fondo, se puede hacer que la fricción entre la pulpa y el mercurio no pase de determinado límite, circunstancia que con la anterior concurre para evitar la excesiva división del azogue y la pérdida resultante.

El elevado rendimiento es debido al íntimo, perfecto y continuado contacto entre el mineral y el mercurio, así como á la energía de las reacciones químicas favorecidas directamente por la elevación de temperatura de la pulpa.

La disposición de los panes al mismo nivel disminuye el espacio necesario para la instalación, y por consiguiente es más económico.

Todas estas condiciones unidas á varias disposiciones bien estudiadas en las transmisiones y demás mecanismos, han hecho que el sistema de panes continuos de M. P. Boss, amparado por un privilegio del Gobierno mexicano, de fecha 23 de Septiembre de 1882, haya sido aceptado en muchas partes de la República y en Pachuca en las haciendas de Bartolomé de Medina, San Francisco de Maravillas y Progreso, de las que sólo las dos últimas describiremos por las razones ya expuestas.

San Francisco de Maravillas.—Con el fin de beneficiar los metales de poca ley que se encuentran en abundancia en las minas del Zotol, Maravillas, etc., se instaló inmediata al Zotol la hacienda de San Francisco.

Los minerales vienen desde la boca del tiro del Zotol por una vía herrada de 60 centímetros, siendo recibidos en la hacienda en unas tolvas de donde pasan á dos quebradoras que los reducen á fragmentos muy pequeños; de las quebradoras pasa el mineral á una serie de mazos dispuestos en seis baterías de cinco mazos cada uno. El peso del mazo es de 1,050 libras (475,^{k}650), la caída de 5½″ (0^{m}165) y dan 104 golpes por minuto; puede moler cada mazo 3 toneladas en 24 horas. La lama sale de los mazos pasando por telas del número 20 y en seguida atraviesa una serie de remoledores, dos para cada ba-

tería, saliendo de éstos la molienda con tal grado de finura que según la opinión del Sr. M. P. Boss, puede pasar por una malla del número 100. El diámetro de los remoledores es de 3′ (0^m914) marchando con 190 revoluciones por minuto.

La cantidad de fierro introducida en la molienda se estima en 2,5 libras (1^k133) por tonelada.

De los remoledores pasa la pulpa á un tonel mezclador de madera, donde se le agregan los reactivos en la proporcion de 16 á 20 libras (7^k248 á 9^k160) por tonelada y 3½ partes de sal por una de sulfato.

En seguida entra la lama á una serie continuada de 15 panes, 2 Standard y 13 de mampostería revestida de cemento. El fondo de éstos es doble, de fierro, teniendo además un segmento de fierro que forma la parte de tina común á dos panes adyacentes y que siendo hueca recibe vapor para ayudar al calentamiento de la lama. El diámetro de los panes es de 5′ (1^m525) y dan 75 revoluciones por minuto. El mercurio que circula por esta serie de panes viene de un tanque distribuidor al que se hace subir después de filtrado para quitarle la amalgama por medio de una bomba; llaves convenientemente colocadas permiten hacer su distribución.

A continuación de los panes se encuentran tres asentadores ó lavaderos (Settlers) de 8′ (2^m440) de diámetro marchando con velocidad de 16 vueltas por minuto.

La pella se limpia en un pequeño pan y se quema después en dos retortas horizontales "Frazer and Chalmers" de 2,000 libras de capacidad cada una.

La cantidad de metal beneficiado por día de 24 horas varía de 600 á 650 cargas (de 83 á 90 toneladas), la ley varía entre 3 y 5 marcos por montón (0,5 á 0,83 milésimos), con una pérdida de azogue de 2,5 á 3 libras por tonelada (1^k132 á 1^k35 por tonelada). El rendimiento es de 70 por ciento; pero el Sr. Boss asegura que con metales dóciles puede elevarse á 90 por ciento.

La lama que sale de los settlers pasa por tres planillones, y en seguida se deja asentar y se concentran los polvillos en 15 planillas comunes.

La fuerza motriz es suministrada por una máquina Corliss de un solo cilindro horizontal de doble efecto, con volante que da 70 revoluciones. El vapor necesario es generado en 2 calderas Standard y tienen de 90 á 100 libras de presión por pulgada cuadrada (6,3 á 7 k. por centímetro cuadrado) y se consumen 7½ toneladas de carbón en 24 horas.

Hacienda del Progreso.—La antigua hacienda del Progreso ha sido recientemente modificada, adoptándose el sistema de panes continuos.

Está movida por una máquina marcada Widmmann Steuvering B. R. B. número 48,833; es de dos cilindros compound con las dimensiones siguientes:

Cilindro chico, diámetro 20″ (0^m508) carrera 6′ (1^m827).
Cilindro grande, diámetro 40″ (1^m016) carrera 6′ (1^m827).
Cilindro chico, presión 5 atmósferas.
Cilindro grande, presión 2 atmósferas.
Volante que da 60 revoluciones por minuto.

La molienda se hace en 10 baterías de 5 mazos y 14 remoledores. El peso de cada mazo es de 850 libras ($385{,}05^{ks}$) y caída de 6½″ ($0^{m}165$) dando 104 golpes por minuto. Los remoledores de 32″ ($0^{m}813$) de diámetro, caminan con 240 revoluciones en el mismo tiempo.

En lugar de tonel mezclador se usa aquí un pan mezclador Boss para la adición de los reactivos.

La poca velocidad con que marcha este pan hace que el mineral y los reactivos permanezcan largo tiempo en contacto antes de entrar á los panes amalgamadores; además, la poca densidad de los reactivos hace que la solución sea más concentrada en la parte superior por donde se hace el escurrimiento; la pulpa, más pesada, se va al fondo, de donde es obligada á salir por una aleta de la tina colocada cerca del tubo de salida; de esta manera se obtiene el mejor grado de eficiencia y economía en el empleo de los reactivos.

Los panes son Standard (tina de madera y fondo doble de fierro) en número de 16, de 4′ 6″ ($1^{m}372$) de diámetro y marchan con 75 revoluciones.

Los lavaderos son cuatro, de 8′ diámetro ($2^{m}44$) y dan 23 revoluciones.

La capacidad de la hacienda es de 800 cargas en 24 horas (110 toneladas diarias). Beneficia metales de Maravillas de 3 á 6 marcos (0.5 á 1 milésimo) y el rendimiento, cantidad de fierro introducida en la molienda, pérdida de mercurio, &, son lo mismo que en la hacienda de San Francisco. El consumo de carbón es 8 toneladas diarias.

No habiendo sido posible obtener diagramas en ninguna de estas dos haciendas con el fin de calcular el trabajo que los mazos, remoledores, panes y lavaderos, respectivamente consumen, pongo á continuación los datos que sobre el particular pudimos recoger.

Trabajo consumido por mazo de 2,5 á 3 H. P.
Trabajo consumido por remoledor de 4 á 5 H. P.
Trabajo consumido por pan, de 2,5 á 3 H. P.
Trabajo consumido por settler, de 1 á 1½ H. P.

El costo de beneficio por montón de mineral es próximamente de $10.00.

Aplicado este procedimiento á metales convenientes, es decir, á minerales que contengan plata nativa y sulfuros de plata, con cantidades pequeñas de sulfo-antimoniuros y sulfo-arseniuros, pirita, blenda y galena, es fácil obtener muy buenos rendimientos; pero si los sulfo-antimoniuros (polybasita, Stefanita, Pyrargyrita y Miargyrita), y sulfo-arseniuros de plata (proustita) la pirita, la galena y la blenda dominan, los minerales no son propios para este procedimiento sin previo tueste.

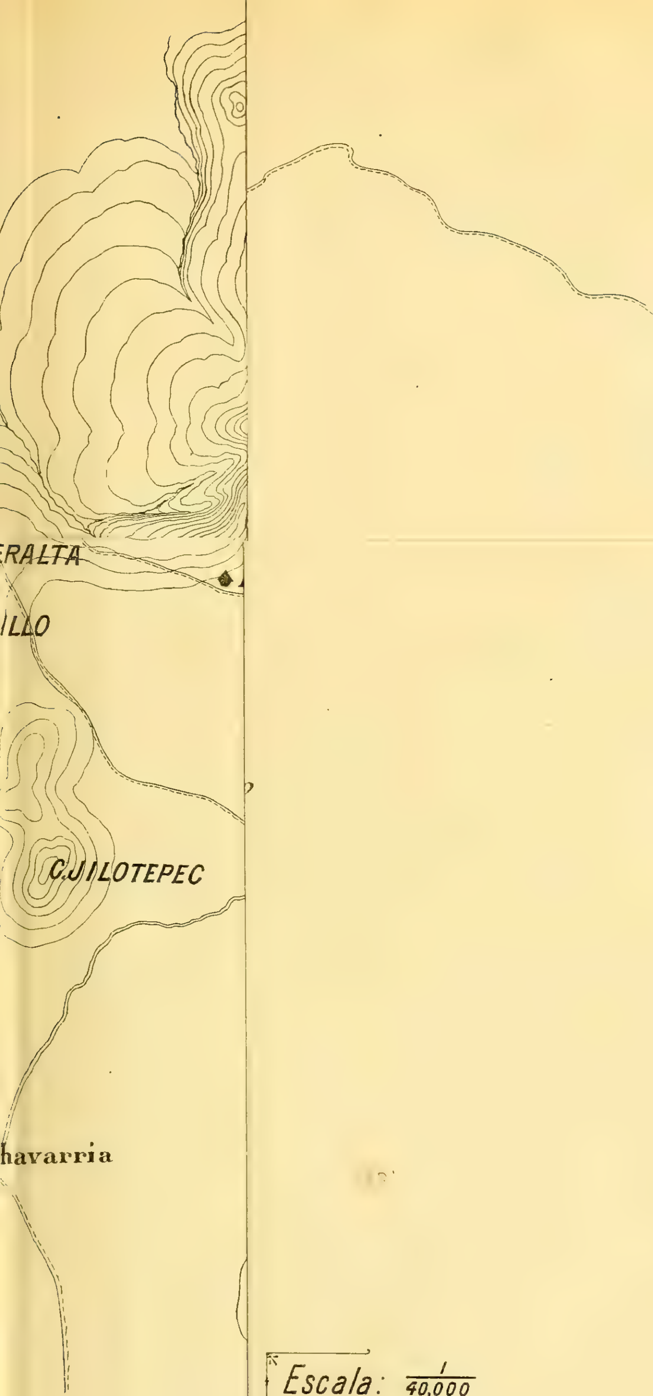
Respecto á las reacciones que en el pan se verifican sólo diremos que nos parece son en esencia las mismas que en el procedimiento de patio, modificadas por la presencia del fierro en gran cantidad y activadas por la elevación de temperatura. En efecto, la formación del cloruro cúprico no puede negarse, mucho menos cuando la mezcla de los reactivos (sal y sulfato) se hace en tina ó tonel de madera.

Tampoco puede ponerse en duda la reducción del cloruro cúprico en cuproso, sólo que aquí es producida principalmente por el fierro que está en exceso, evitando así que el mercurio sea el reductor principal como pasa en el patio donde éste domina, razón que explica la menor pérdida de *Hg* en los panes.

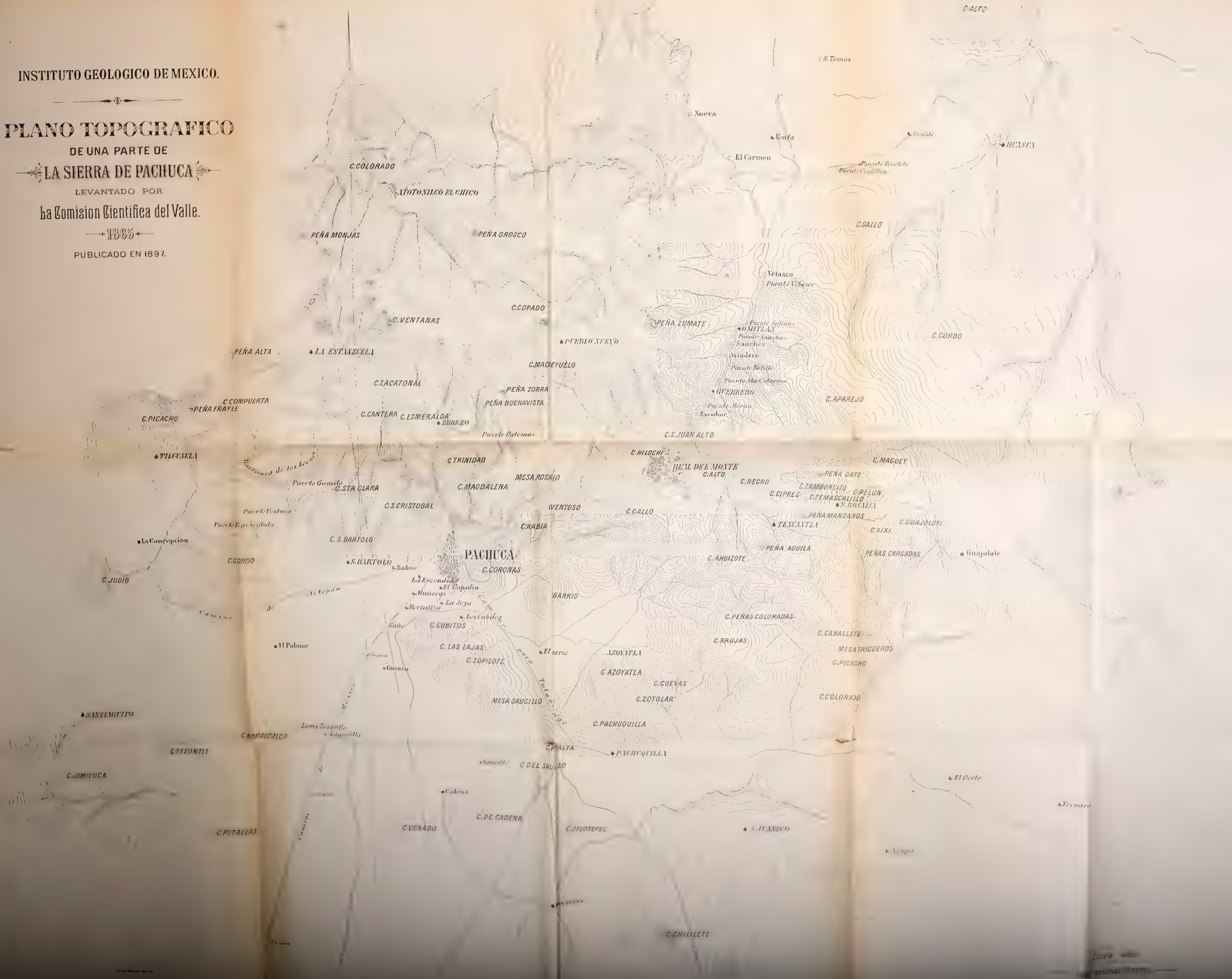
Parte del cloruro cuproso obra sobre el sulfato de plata produciendo cloruro, reducido después por el fierro y el mercurio, y dando plata que se amalgama. La otra parte de cloruro cuproso es reducida por el fierro con precipitación de cobre metálico que se amalgama, y de allí resulta el que la plata de panes sea cuprosa.

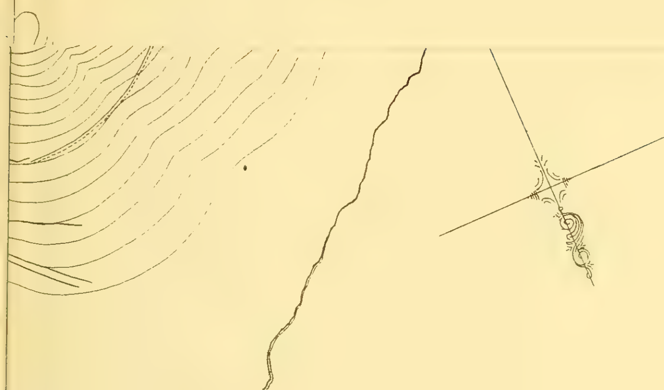


ÍNDICE.



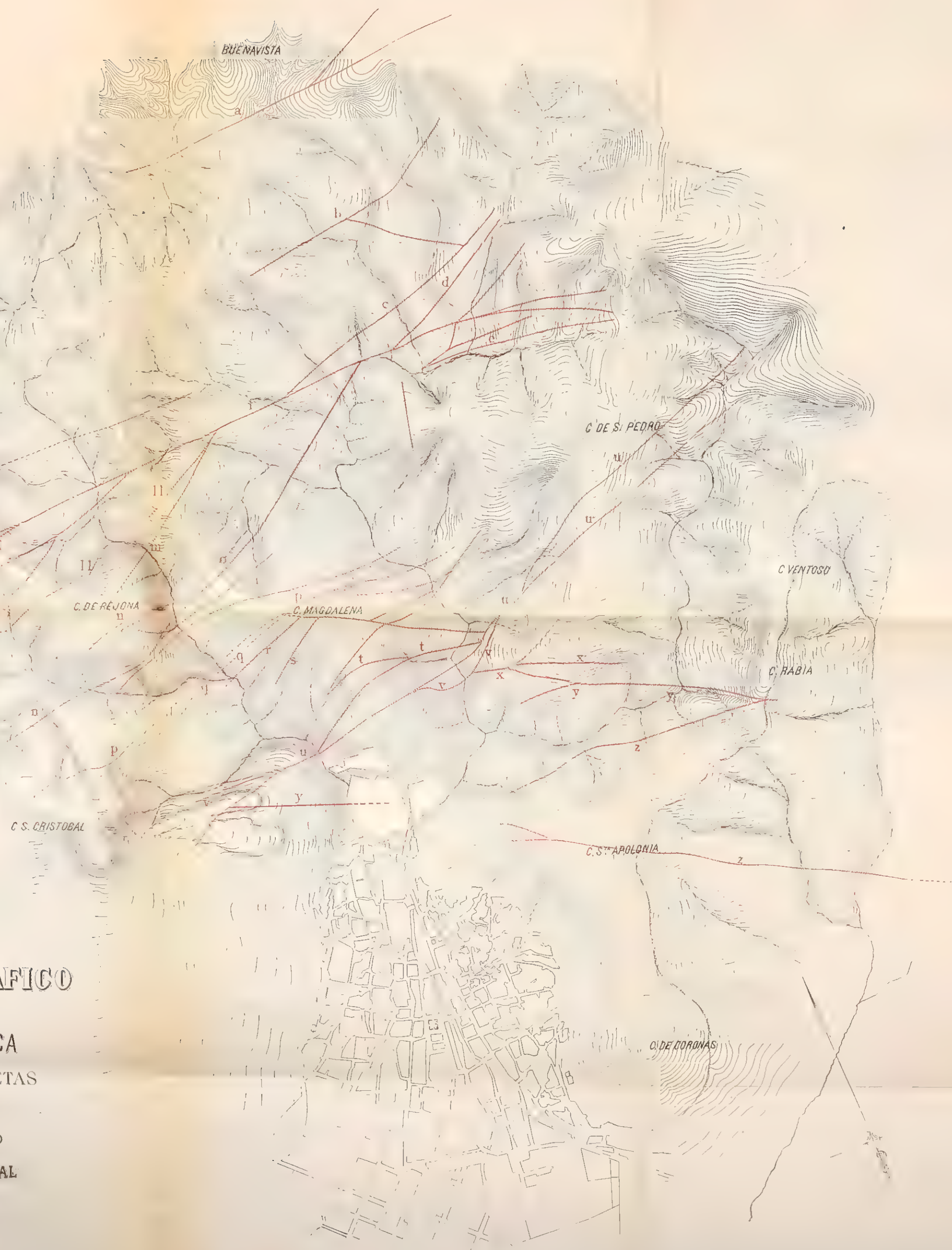
ERALTA
ILLO
C.JILOTEPEC
havarria
Escala: 1/40,000
uidª de curvas 20 metros.


INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.
PLANO TOPOGRAFICO
DE UNA PARTE DE
LA SIERRA DE PACHUCA
LEVANTADO POR
la Comision Cientifica del Valle.
1865
PUBLICADO EN 1897.
S. Tomas
Nueva
Venta
El Carmen
HUASCA
C.COLORADO
ATOTONILCO EL CHICO
PEÑA MONJAS
PEÑA OROSCO
C.GALLO
Velasco
Puente Velasco
C.COPADO
C.VENTANAS
PEÑA ZUMATE
OMITLAN
Sanchez
C.CORDO
PEÑA ALTA
LA ESTANZUELA
PUEBLO NUEVO
C.MAGUEYUELO
C.ZACATONAL
PEÑA ZORRA
PEÑA BUENAVISTA
GUERRERO
Escobar
C.APAREJO
C.COMPUERTA
PEÑA FRAYLE
C.PICACHO
C.CANTERA
C.ESMERALDA
C.S.JUAN ALTO
TILCUAUTLA
C.TRINIDAD
C.HILOCHI
REAL DEL MONTE
C.ALTO
C.MAGUEY
PEÑA GATO
Puerto Gamilo
C.STA CLARA
C.MAGDALENA
MESA ROSRIO
C.NEGRO
C.TAMBORCITO
C.PELON
C.CIPRES
C.TEMASCALILLO
S. ROSALIA
C.S.CRISTOBAL
VENTOSO
C.GALLO
PEÑA MANZANOS
C.RABIA
TEXCANTLA
C.CUAJOLOTE
C.XIXI
La Concepcion
C.S. BARTOLO
PACHUCA
PEÑA AGUILA
PEÑAS CARGADAS
Guajolote
C.GORDO
S.BARTOLO
C.CORONAS
C.AHUIZOTE
C.JUDIO
Xahue
La Escondida
El Capulin
Muñecas
La Joya
Hortaliza
BARRIO
Los Cubitos
C.CUBITOS
C.PEÑAS COLORADAS
C.CABALLETE
El Palmar
C.LAS LAJAS
El Barrio
AZOYATLA
C.BRUJAS
MESA TRIGUEROS
C.ZOPILOTE
C.PICACHO
Cuesco
C.AZOYATLA
C.CUEVAS
C.ZOTOLAR
MESA SAUCILLO
C.COLORADO
SANTIAGUITO
C.PACHUQUILLA
C.NOPALCALCO
C.TEZONTLE
C.PALTA
PACHUQUILLA
C.DEL SAUCILLO
C.JIMIYUCA
El Ocote
Cadena
C.DE CADENA
C.PITALLAS
C.VENADO
C.JILOTEPEC
S.JUANICO
C.CHILILETE



LIT. EM. MOREAU. MEXICO.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.



PLANO TOPOGRAFICO

DEL

MINERAL DE PACHUCA

CON EL SISTEMA DE VETAS

ESCALA — 1: 10000

EQUIDISTANCIA VERTICAL

de las curvas: 10 metros

1897

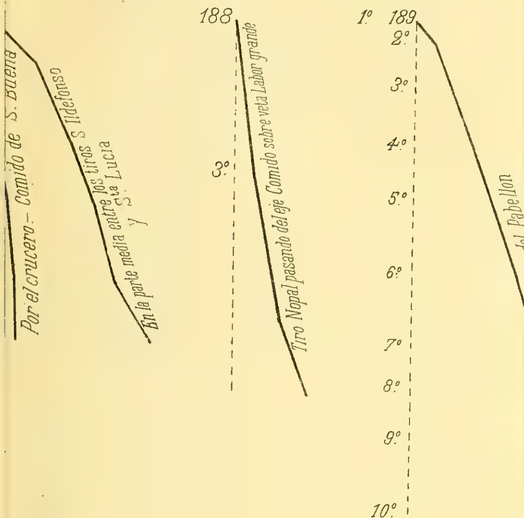
VETAS	NOMBRES.	VETAS.	NOMBRES.
a	Polo Norte.	o	Maravillas.
b	De Enmedio.	p	Encino ó Cristo
c	Crist-Colon.	q	San José el Viejo.
d	Quintanilla	r	San Lorenzo.
e	Malinche	s	Altar.
f	Vizcaina	t	Santa Rita.
g	Dinamita	u	Los Analcos.
h	Escondón.	u	San Miguel.
i	Altagracia	v	Fresnillo.
j	Sta Ursula	v	El Balcón.
k	Rosario Viejo	x	Guadalupe
l	Sacramento	x	Precavida.
ll	Potosí	y	Cal y Canto.
m	Trompillo	y	La Zorra
n	[illegible]	z	Valenciana
ñ	Pabellón	z	Corteza

JAUHTEMOC

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.



s y Pabellon



188
3°
1°
189
2°
3°
4°
5°
6°
7°
8°
9°
10°
Por el crucero - Comido de S. Buena
En la parte media entre los tiros S. Ildefonso y Sta Lucia
Tiro Nopal pasando del eje Comido sobre veta Labor grande
del Pabellon

CORTE DE LAS VETAS

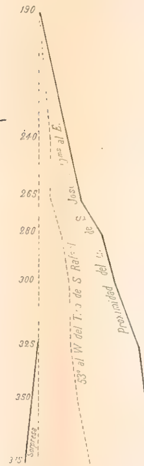
Segun el Plano

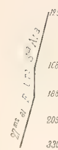
DE

MAYOR PENDIENTE

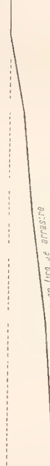
1897

Veta Vizcaina





Veta Maravillas y Pabellon





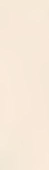






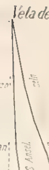


Vela de Cal y Canto.



Guadalupe y Fresnillo

Fortuna







Veta de los Analcos.

S. Pedro

Socavon Rosario

Cruz

S. Mateo

S. Juan

S. Manuel

S. Juan. 103

S. Agustin

S. Mateo

Guadalupe

S. Carlos

Fortuna

Mina La Zorra

Sta. Gertrudis, Barron y Bartolome de Medina

S. Miguel

S. Luis

Roberto

Mina del Cristo

Cristo veta parada entre los dos cambio de echado



Boca La Purisima. 170 A 30 E. Tiro Corteza clavado - Zona rica

La Luz

LIT. EN MOREAU MEXICO

UTO GEOL



R a

Nombre

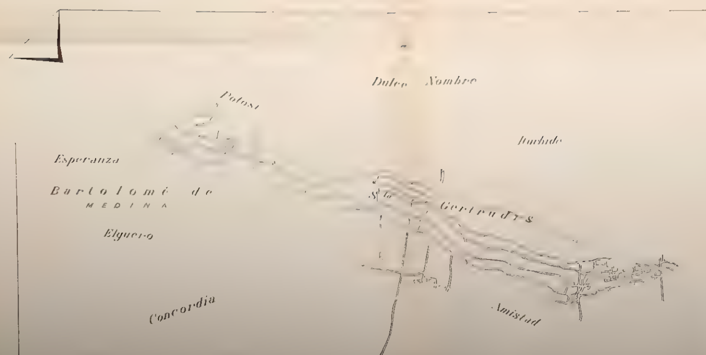


Am A CABAÑA

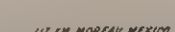
Redencion
Tiro Camelia
Camelia
S. Ana
La Soledad
La Sorpresa
S. Rafael
Sacramento
El Carmen
Maravillas
La Luz
S. Manuel
Iturbide
Navarro
S. Eugenio
Nuevo Cuauhtemotzin
Tiro Pabellon
El Encino
Tiro el Tajo
Mora
La Grande
Dolores
S. Nicanor
Tiro Sta Rita
La Luz
S. Tomas
S. Miguel
El Tulipan
Rosario
La Llave
Milanesa
Tiro S. Pedro
Guadalupe
S. Lorenzo
S. Cristobal
Tiro S. Juan
El Perro
Cal y Canto
S. Anselmo
La Gloria
Valenciana
Mier
Fortuna
S. Francisco

PROYECCION GENERAL HORIZONTAL
DE LAS
LABORES EN LAS VETAS
DE
LAS PRINCIPALES MINAS
DE
PACHUCA
1897.

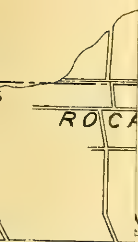
Escala: $\frac{1}{5000}$



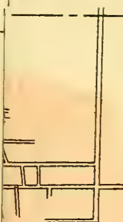
S. Miguel
Tiro de la Corteza
Corteza
Tiro de la Purisima
Tiro de la Cabaña



a de S



ON VERTICAL



Ve

RO CORTEZ



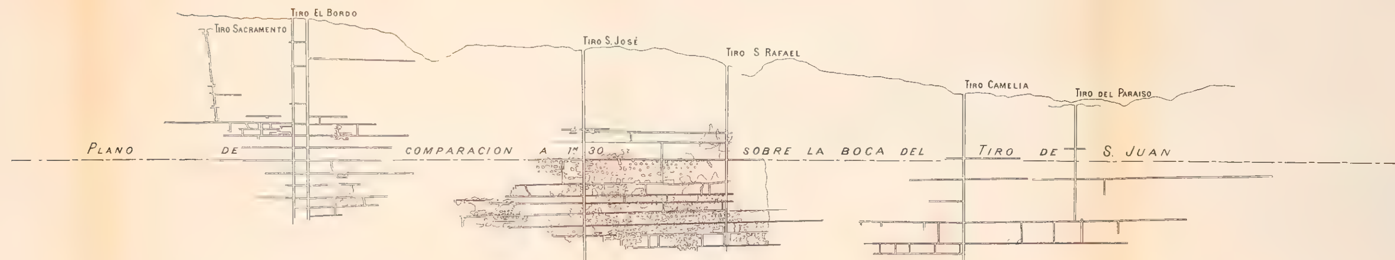
LIT. EM. MOREAU. MEXICO.

Veta de San Juan Analco.

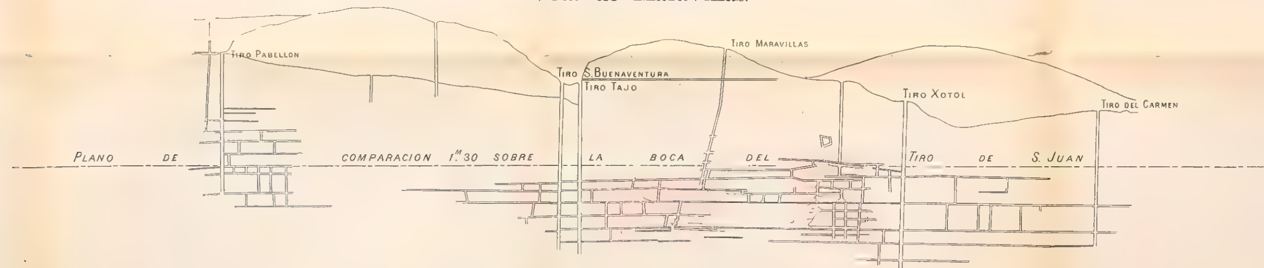


PROYECCION VERTICAL
DE LAS LABORES
DE LAS PRINCIPALES
MINAS DE PACHUCA
1897.

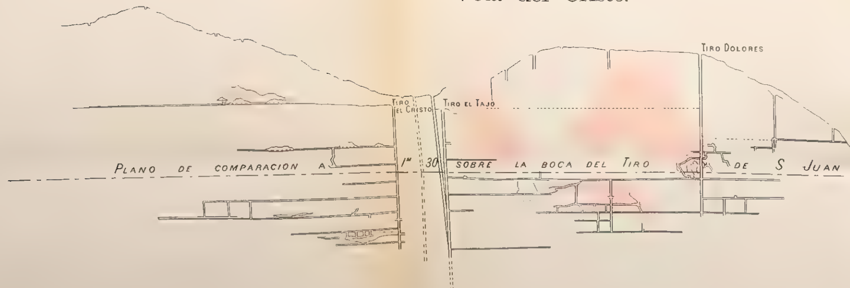
Veta Vizcaina.



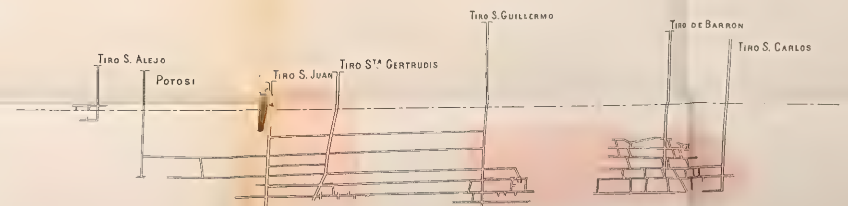
Veta de Maravillas.



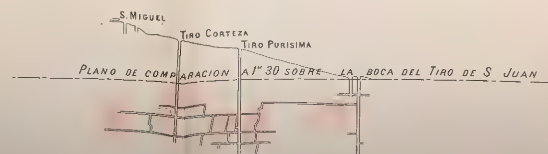
Veta del Cristo.



Veta Santa Gertrudis.



Veta Corteza.

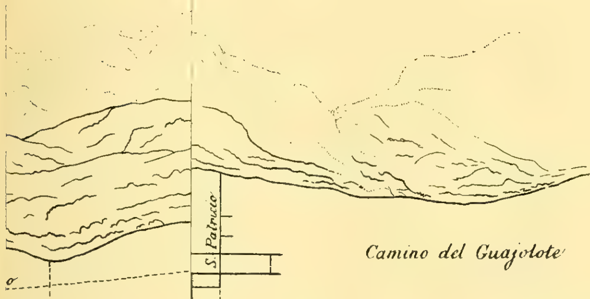


INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

Escala: 1/5,000

TITUTO G

las Vetas de



INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

Corte de Pachuca á Real del Monte, en dirección de Oeste á Este, sobre las Vetas de Analcos y Vizcaina, mostrando los trabajos de la Compañía de REAL DEL MONTE Y PACHUCA.

La Presa

Sumate

Mina del Xacal

Mina del Rosario

Mina de Dolores

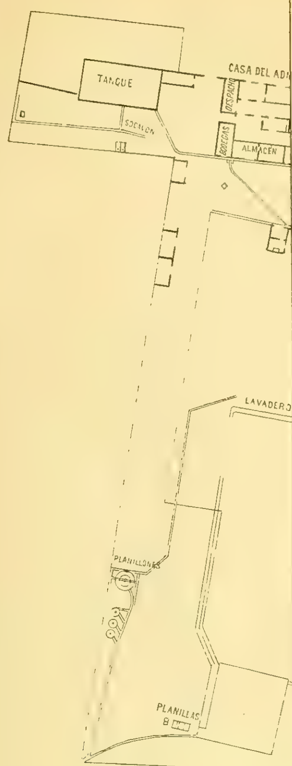
Mina de la Rumes

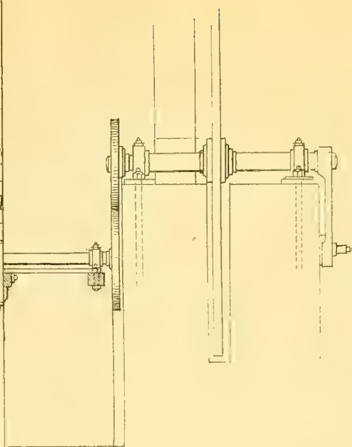
REAL DEL MONTE

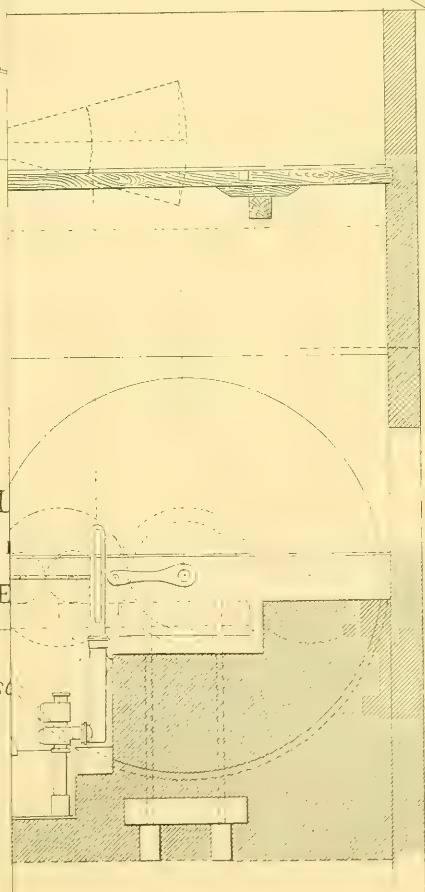
Camino del Guajolote

Pertenencias sobre la veta Vizcaina

NIVEL DE 1524 Ms SOBRE EL MAR


TANQUE
CASA DEL ADM
DESPACHO
BODEGAS
ALMACEN
LAVADERO
PLANILLONES
PLANILLAS

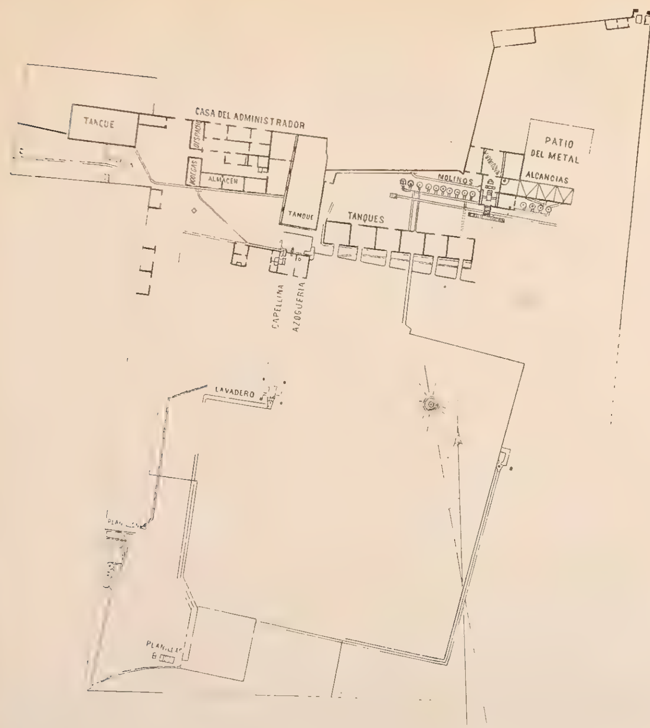


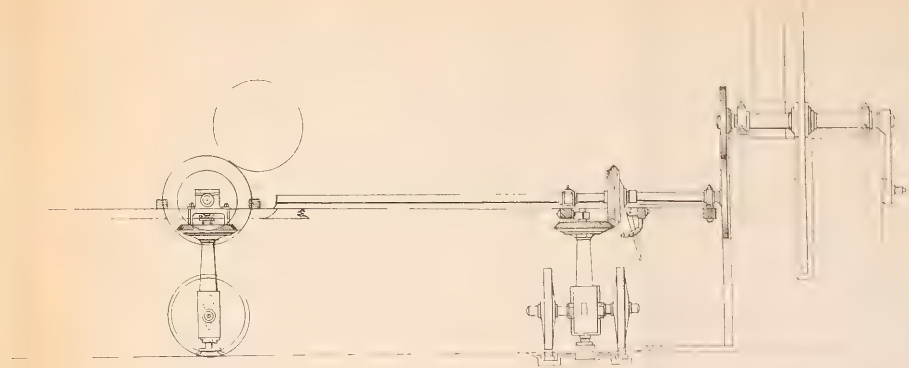


PL

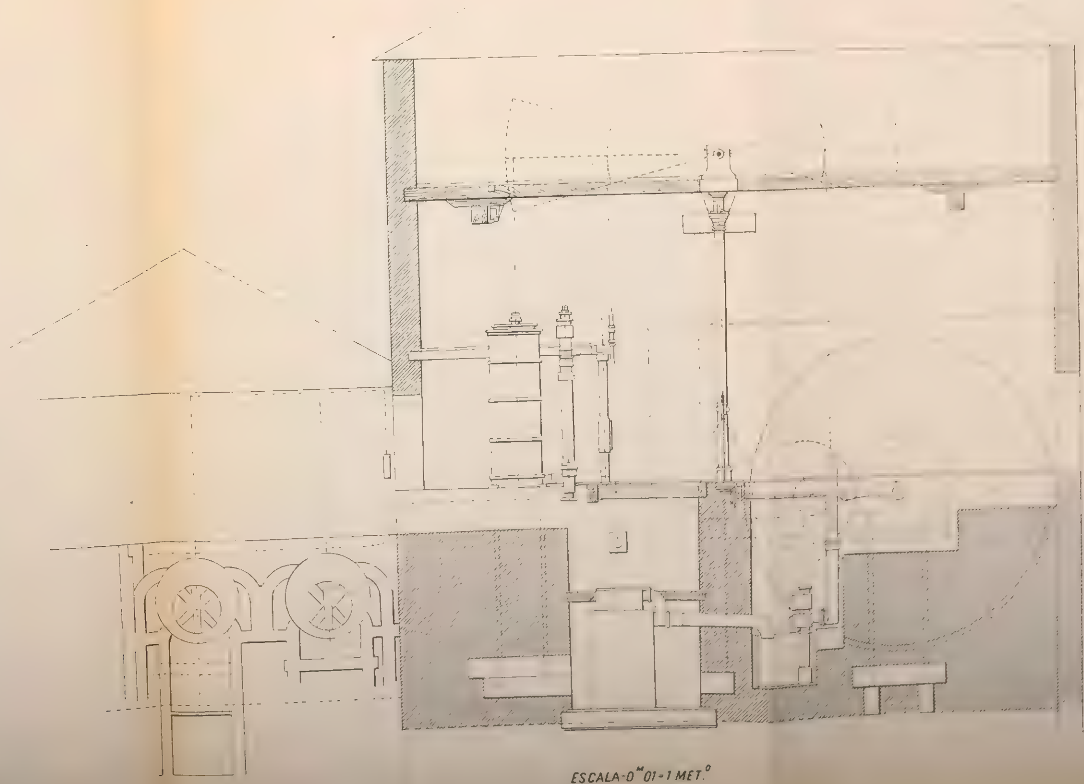
"HDA". DE

ESC





ESCALA-0.M01=1 MET.O



ESCALA-0.M01-1 MET.O

PLANO

DE LA

"HDA". DE GUADALUPE

ESCALA $\frac{1}{2000}$

SECRETARIA DE FOMENTO, COLONIZACION É INDUSTRIA.

BOLETÍN

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

NUMS. 7, 8 y 9.

EL MINERAL DE PACHUCA.



MEXICO
OFICINA TIP. DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Calle de San Andrés número 15.

1897

BOLETIN

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 24 lám.

Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S.O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895—46 pp., 1 lám.

Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatan, por C. Sapper.—1896—58 pp., 6 lám.

Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897—272 pp., 5 lám.

Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897—184 pp., 14 lám.

EN PREPARACION:

Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana.

Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana.

Carta Geológica detallada de la República Mexicana.

ESCALA DE 1:100,000.

HOJA N. 1: ZUMPANGO.——HOJA N. 2: PUEBLA.——HOJA N. 3: MEXICO.

HOJA N. 4: APAM.

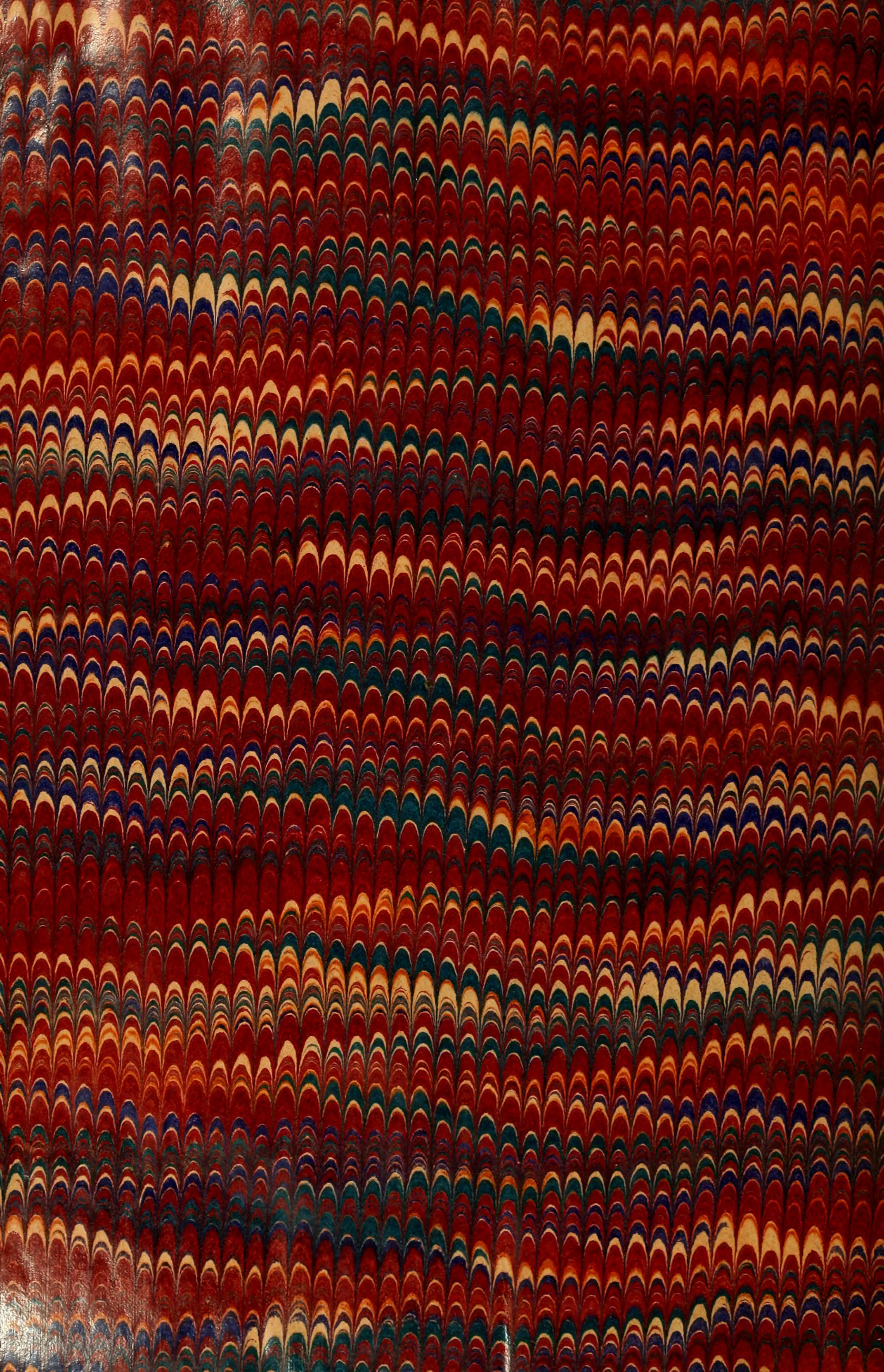
L'Institut Géologique du Mexique recevra avec grand interêt les publications concernants la Géologie, la Géographie physique et l'Histoire Naturelle en général, en échange de son Bulletin *qui se publie par cahiers in 4º avec gravures et planches. Le numéro 1 de ce recueil a paru avec le titre de "Boletín de la Comisión Geológica de México."*

Adresse:

Instituto Geológico de México.
Calle de San Andrés, núm. 13.

MÉXICO.
MEXIQUE.

Amérique du Nord.






SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01224 2376